

# **Untersuchungen zu Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw**

Am Fachbereich Maschinenbau  
an der Technischen Universität Darmstadt

zur

Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

**M.Sc. Philip Joisten**

aus Frankfurt am Main

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Steven Peters, Technische Universität Darmstadt

Tag der Einreichung: 30. Januar 2023

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Mai 2023

Darmstadt 2023

D17

Philip Joisten: *Untersuchungen zu Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw*

Darmstadt, Technische Universität Darmstadt

Jahr der Veröffentlichung der Dissertation auf TUprints: 2023

URN: urn:nbn:de:tuda-tuprints-240487

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Mai 2023

Veröffentlicht unter CC BY-SA 4.0 International



---

## Danksagung

---

Ich möchte mich herzlich bei *Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder* bedanken. Ich danke Ihnen für das wertschätzende und unterstützende Arbeitsumfeld, das Sie am Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt geschaffen und geprägt haben. Im Besonderen danke ich Ihnen für Ihre Ratschläge und das Vertrauen, das Sie in mich gesetzt haben. Herzlichen Dank, dass Sie mir die Möglichkeit gegeben haben, mich fachlich und menschlich im Rahmen dieser Dissertation weiterzuentwickeln.

Für die Übernahme des Korreferates möchte ich mich bei *Prof. Dr.-Ing. Steven Peters* vom Fachgebiet Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Darmstadt herzlich bedanken.

Ich bedanke mich herzlich bei *Bettina Abendroth*, die mich als Forschungsgruppenleiterin nicht nur fachlich, sondern auch persönlich stets unterstützt. Ich danke dir für deine wertvollen Ratschläge während meiner Dissertation und den Hinweisen zum Manuskript dieser Arbeit.

Ein besonderer Dank gilt meiner Kollegin und Freundin *Nina Theobald*, die mich immer wieder lehrt, was Ehrgeiz ist. Ich danke dir für den wertvollen Austausch, deine anspornende Art, deine stets hervorragenden Musik-Vorschläge und für deine Kommentare zum Manuskript dieser Arbeit.

Ich danke meinem Mentor und Freund *Lukas Bier*, der mich immer unterstützt und hervorragend berät. Du hast den Grundstein für mein wissenschaftliches Interesse gelegt. Dafür bin ich dir sehr dankbar.

Ebenso gilt mein Dank meinem Freund *Andreas Müller*, der mir nicht nur fachlich neue Wege eröffnet hat, sondern auch in anderen Lebensbereichen mit Rat und Tat zur Seite steht. Weiter möchte ich mich bei *Ilka Subtil* bedanken, die mir nicht nur in sportlicher Hinsicht ein Vorbild ist. *Jonas Walter* und *Pia Niessen* möchte ich für ihre fürsorgliche Art, ihren Rat und die tolle gemeinsame Zeit danken.

Ich danke dem vollständigen Kollegium am Institut für Arbeitswissenschaft. Ein besonderer Dank gilt meinem Büropartner *Tim Steinebach* und dem Erfolgsteam mit *Verena Klaer* und *Deborah Petrat*, die mir immer unterstützend zur Seite standen. *Sarah Schwindt*, *Oliwia Karasek* und *Maximilian Pätzold* danke ich für ihre Begleitung während und abseits des Arbeitsalltags.

Ich bedanke mich bei allen Studierenden, die ich im Rahmen von studentischen Arbeiten und Projekten betreuen durfte und die mit ihren Beiträgen wesentlich zur Erstellung dieser Dissertation beigetragen haben. Mein persönlicher Dank für gilt: *Luisa Buntenbach*, *Fan Dong*, *Nils Glock*, *Felix Heinz*, *Sophia Herten*, *Daniel Herter*, *Valeria Kruft*, *Langtao Liao*, *Ida Mikolajczak*, *Yannis Nikala*, *Moyang Qin*, *Jazib Sajjad*, *Timo Stephan*, *Jasmin Theobald*, *Berkay Ulusoy*, *Marleen Vögler*, *Liu Ziyu* und vielen Weiteren.

Ich danke *Andreas Webler* und *Binzi Hu* für ihr vorbildliches Engagement, ihre strukturierte Arbeitsweise und ihre Unterstützung als studentische Hilfskräfte.

Mein Dank gilt darüber hinaus allen Personen, die an meinen Studien teilgenommen haben.

Ich danke allen beteiligten Personen und Institutionen des Verbundforschungsprojekts *@CITY - Automated Cars and Intelligent Traffic in the City*, die mich während meiner Dissertation begleitet haben. Insbesondere bedanke ich mich für die finanzielle Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags.

Abschließend möchte ich mich herzlich bei meiner Familie bedanken. Ich danke meiner Schwester *Caroline* für ihre Unterstützung und ihren Rat. Meinen Eltern *Beate* und *Klaus-Dieter*, die mich immer unterstützen und fördern, danke ich für alle Grundsteine, die sie für mich gelegt haben.

---

## Erklärung

---

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit, abgesehen von den in ihr ausdrücklich genannten Hilfen, selbstständig verfasst habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle direkten und indirekten Quellen als Referenzen angegeben.

Begleitende Inhalte dieser Arbeit wurden als nationale und internationale Konferenzbeiträge oder Zeitschriftenaufsätze veröffentlicht. Eine Auflistung dieser Veröffentlichungen und eine Erklärung mit meinen Beiträgen zu diesen Veröffentlichungen finden sich am Ende der Arbeit (siehe Anhang A).



M. Sc. Philip Joisten

---

## Kurzfassung

---

Bereits heute wird die Interaktion zwischen hochautomatisierten Pkw und zu Fuß Gehenden erforscht, um zukünftig einen sicheren und effizienten Straßenverkehrsfluss zu gewährleisten. Die hohe Automatisierung der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe bedingt nicht nur die Ergänzung, sondern den zeitweisen vollständigen Ersatz des Menschen als fahrende Person, weshalb die Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) für die Interaktion zwischen hochautomatisierten Pkw und zu Fuß gehenden Personen an Bedeutung gewinnt. Diese technologisch induzierte Veränderung kann die Ursache für Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr sein. Eine Forschungslücke besteht darin, die Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden zu untersuchen. Dementsprechend ist das Ziel dieser Arbeit, Verhaltensanpassungen zu Fuß Gehender bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw unter dem Aspekt steigender Erfahrung des Menschen bei der Interaktion sowie der Automationstransparenz, als Variable der Gestaltung der MMS von hochautomatisierten Pkw, zu untersuchen. Zur Erfüllung dieser Zielstellung wurden zwei empirische Untersuchungen als explorative Interviewstudie mit 36 Teilnehmenden und als quasi-experimentelle Studie mit Messwiederholungen durchgeführt. Auf einem abgesperrten Testgelände interagierten 37 Versuchspersonen an drei aufeinanderfolgenden Versuchstagen mit einem hochautomatisierten Pkw als Realfahrzeug mit Wizard-of-Oz Konzept. Neben der interaktionsbezogenen Variablen der Bereitschaft zur Querung wurden das Vertrauen in und das mentale Modell bezüglich hochautomatisierter Pkw erhoben.

Die Ergebnisse der Interviewstudie zeigen, dass Erfahrung eine zentrale Einflussgröße einer Verhaltensanpassung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw ist. Außerdem deckt sich das mentale Modell der interviewten Personen nicht mit dem konzeptuellen Modell eines hochautomatisierten Pkw. Aus den explorativen Erkenntnissen der Interviewstudie wurden Hypothesen abgeleitet, die in dem kontrollierten Feldtest geprüft wurden. Die Ergebnisse dieser zweiten empirischen Untersuchung zeigen, dass in Abhängigkeit der Fahrstrategie des Pkw und der Automationstransparenz die Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden mit zunehmender Erfahrung bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw zunimmt. Des Weiteren nimmt das Vertrauen von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw mit zunehmender Interaktionserfahrung zu. Demgegenüber entwickelt sich das mentale Modell der Versuchspersonen von einem hochautomatisierten Pkw nicht innerhalb der drei Versuchstage. Die Ausprägung des mentalen Modells bezüglich hochautomatisierter Pkw ist jedoch von der erlebten Automationstransparenz abhängig.

Für die Erforschung der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw bietet diese Arbeit einen Mehrwert, weil bislang experimentelle Untersuchungen zu Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden in realitätsnahen Untersuchungsumgebungen fehlen. Aus der Arbeit leitet sich die praktische Implikation ab, dass hochautomatisierte Pkw mit einer hohen Automationstransparenz gestaltet werden sollten, wenn sie mit zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr interagieren.

---

---

## Abstract

---

The interaction between passenger cars with high driving automation and pedestrians is already being researched today in order to ensure a safe and efficient flow of road traffic in the future. The high level of automation of the dynamic driving task requires not only the supplementation, but the temporary complete replacement of the human as the driving person, which is why the human-machine interface (HMI) for the interaction between highly automated passenger cars and pedestrians is gaining in importance. This technologically induced change may be the cause of behavioural adaptations of pedestrians in road traffic. A research gap exists in investigating the behavioural adaptations of pedestrians. Accordingly, the aim of this doctoral thesis is to investigate behavioural adaptations of pedestrians when interacting with highly automated passenger cars under the aspect of increasing human experience in the interaction as well as automation transparency as a variable of the design of the HMI of highly automated passenger cars. To fulfil this objective, two empirical studies were conducted as an exploratory interview study with 36 participants and as a quasi-experimental study with repeated measurements. On a test site, 37 test subjects interacted with a highly automated passenger car as a real vehicle with a Wizard-of-Oz concept on three consecutive test days. In addition to the interaction-related variable of willingness to cross, the trust in and the mental model regarding highly automated passenger cars were measured.

The results of the interview study show that experience is a central factor influencing the behavioural adaptation of pedestrians when interacting with highly automated passenger cars. Furthermore, the mental model of the interviewed persons does not coincide with the conceptual model of a highly automated passenger car. From the explorative findings of the interview study, hypotheses were derived that were tested in the controlled field test. The results of this second empirical study show that, depending on the driving strategy of the car and the automation transparency, the willingness of pedestrians to cross the road increases with increasing experience when interacting with highly automated passenger cars. Furthermore, the trust of pedestrians in highly automated passenger cars increases with increasing interaction experience. In contrast, the subjects' mental model of a highly automated passenger car does not develop within the three days of the experiment. However, the development of the mental model of highly automated passenger cars is dependent on the experienced transparency of automation.

This work offers added value for research on the interaction between pedestrians and highly automated passenger cars, because experimental studies on the behavioural adaptations of pedestrians in realistic test environments were previously scarce. The practical implication of the work is that highly automated passenger cars should be designed with a high degree of automation transparency when interacting with pedestrians in road traffic.

---

## Abkürzungsverzeichnis

---

A	Automation
ACC	Abstandsregeltempomat (engl. Adaptive Cruise Control)
AISS-d	Deutsche Version des Arnett Inventory of Sensation Seeking
ANVOVA	Varianzanalyse (engl. analysis of variance)
ART	Aligned Rank Transformation (engl.)
AT, AT↓, AT↑	Automationstransparenz, niedrige AT, hohe AT
BQS	Bereitschaft zur Querung Score
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment (engl.)
dMMS	dynamische Mensch-Maschine-Schnittstelle
E	Erfahrung
eMMS	externe Mensch-Maschine-Schnittstelle
FM, FM↓, FM↑	Fahrmodus, konventioneller Fahrmodus, hochautomatisierter Fahrmodus
GPS	globales Positionsbestimmungssystem
H	Hypothese
ID	Identifikator
IE-4	Internale-Externale-Kontrollüberzeugung
M	Mensch
Mdn	Median
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle (engl. HMI; human-machine-interface)
MW	Mittelwert (arithmetisch)
N / n	Stichprobengröße des Gesamtkollektivs / Stichprobengröße eines Teilkollektivs
OBD	On-Board-Diagnose
Pkw	Personenkraftwagen
PBQ-d	Deutsche Version des Pedestrian Behaviour Questionnaire
SAE	Society of Automotive Engineers (engl.)
SD	Standardabweichung (engl. standard deviation)
SE	Standardfehler, Stichprobenfehler (engl. standard error)
t0, t1, t2, t0	Messzeitpunkt 0, Messzeitpunkt 1, Messzeitpunkt 2, Messzeitpunkt 3
TTA	Time-to-Arrival
VP	Versuchsperson
VR	virtuelle Realität
WoOz	Wizard-of-Oz

---

---

## Inhaltsverzeichnis

---

1	Einleitung.....	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Ziele .....	3
1.3	Aufbau der Arbeit .....	4
2	Stand der Forschung .....	6
2.1	Verhaltensanpassungen im Straßenverkehr.....	6
2.1.1	Definition .....	6
2.1.2	Theoretische Grundlagen.....	8
2.1.3	Bildung und Entwicklung von Verhaltensanpassungen.....	10
2.2	Automatisierung der Pkw-Führungsaufgabe.....	11
2.2.1	Automatisierung der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe.....	11
2.2.2	Automationstransparenz.....	13
2.2.3	Mensch-Maschine-Schnittstellen von automatisierten Pkw.....	14
2.2.4	Signale der MMS eines automatisierten Pkw an andere Verkehrsteilnehmende.....	15
2.3	Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und Pkw-Fahrenden .....	18
2.3.1	Klassifikation des Verhaltens des Zufußgehens im Straßenverkehr.....	18
2.3.2	Informationsverarbeitung zu Fuß Gehender bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden.....	20
2.3.3	Interaktionsprozess zwischen zu Fuß Gehenden und Pkw-Fahrenden .....	25
2.4	Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und automatisierten Pkw.....	26
2.4.1	Vertrauen .....	27
2.4.2	Mentales Modell .....	30
2.4.3	Erfahrung .....	32
2.5	Forschungslücken, Forschungsfragen und Arbeitsmodell.....	35
2.5.1	Forschungslücken .....	35
2.5.2	Forschungsfragen .....	37
2.5.3	Arbeitsmodell .....	38
2.5.4	Untersuchungsplan .....	39
3	Interviewstudie .....	40
3.1	Untersuchungsziele der Interviewstudie.....	40
3.2	Methode der Interviewstudie .....	40
3.2.1	Fragebogen und Interviewleitfaden.....	41
3.2.2	Auswahl der Stichprobe .....	42
3.2.3	Beschreibung der Stichprobe.....	42
3.2.4	Untersuchungsszenario .....	44
3.2.5	Ablauf der Interviewstudie.....	45
3.2.6	Vorgehen bei der Auswertung des Interviews.....	46
3.3	Ergebnisse und Diskussion der Interviewstudie .....	47
3.3.1	Bildung von Kategorien .....	47
3.3.2	Situatives und initial erlerntes Vertrauen .....	48
3.3.3	Erfassung des mentalen Modells bezüglich hochautomatisierter Pkw .....	52
3.3.4	Einflussgrößen auf die Bereitschaft zur Querung.....	56
3.3.5	Diskussion der Methode und des eingesetzten Materials .....	58
3.4	Fazit der Interviewstudie .....	60
4	Empirisches Untersuchungsmodell und Hypothesen .....	61
4.1	Empirisches Untersuchungsmodell.....	61



4.2	Hypothesen.....	62
5	Kontrollierter Feldtest .....	66
5.1	Methode und Material des kontrollierten Feldtests.....	66
5.1.1	Auswahl der Versuchspersonen.....	66
5.1.2	Experimentelles Design und unabhängige Variablen .....	67
5.1.3	Abhängige Variablen und Messgrößen .....	68
5.1.4	Konfundierende Variablen .....	71
5.1.5	Material.....	72
5.1.6	Untersuchungsszenarien .....	76
5.1.7	Aufgaben der Versuchspersonen .....	77
5.1.8	Aufbau des kontrollierten Feldtests.....	78
5.1.9	Ablauf des kontrollierten Feldtests.....	79
5.1.10	Vorgehen bei der Datenaufbereitung und -analyse.....	82
5.2	Ergebnisse des kontrollierten Feldtests.....	87
5.2.1	Versuchspersonen und Sampling.....	87
5.2.2	Bereitschaft zur Querung vor dem hochautomatisierten Pkw .....	89
5.2.3	Vertrauen und Misstrauen in den hochautomatisierten Pkw.....	97
5.2.4	Mentales Modell bezüglich des hochautomatisierten Pkw .....	101
5.2.5	Lerneffekte .....	104
5.2.6	Zusammenhang von Vertrauen und der Bereitschaft zur Querung.....	106
5.2.7	Post-hoc Interviews.....	106
5.3	Diskussion von Ergebnissen und Methode des kontrollierten Feldtests .....	110
5.3.1	Effekte der Erfahrung .....	110
5.3.2	Effekte des Fahrmodus und der Automationstransparenz.....	114
5.3.3	Diskussion der Methode und des eingesetzten Materials .....	118
5.3.4	Limitationen des kontrollierten Feldtests .....	122
5.3.5	Schlussfolgerung des kontrollierten Feldtests.....	123
6	Allgemeine Diskussion und Fazit .....	125
6.1	Diskussion zu dem methodischen Vorgehen.....	125
6.2	Diskussion zu den Untersuchungszielen .....	127
6.3	Implikationen .....	130
6.3.1	Implikationen für die Forschung .....	130
6.3.2	Implikationen für die Praxis.....	132
6.4	Fazit .....	134
	Glossar .....	135
	Abbildungsverzeichnis .....	142
	Tabellenverzeichnis .....	144
	Literaturverzeichnis.....	145
	Verzeichnis der Datensätze.....	180
	Anhang .....	181

---

# 1 Einleitung

---

## 1.1 Problemstellung

Im Jahr 2017 wurden 22 Prozent aller Wege am Verkehrsaufkommen in Deutschland ausschließlich zu Fuß zurückgelegt (Nobis & Kuhnimhof, 2018). Das Zufußgehen ist damit die am zweithäufigsten genutzte Mobilitätsform, bezogen auf das Verkehrsaufkommen in Deutschland (Ecke et al., 2021; Nobis & Kuhnimhof, 2018). Beim Zufußgehen im Straßenverkehr interagieren Menschen mit anderen Verkehrsteilnehmenden, um sich sicher, effizient und komfortabel fortzubewegen (Stanciu et al., 2018). Dabei stimmen sie ihr Verhalten mehr oder weniger mit anderen Verkehrsteilnehmenden im Straßenverkehr ab, wobei das Agieren jedes Verkehrsteilnehmenden eine zu berücksichtigende Voraussetzung für die (Re-)Aktionen der anderen darstellt (Markkula et al., 2020; Risser et al., 1991). Als sogenannte verletzbare Verkehrsteilnehmende (World Health Organization, 2018) sind zu Fuß Gehende Risiken im Straßenverkehr ausgesetzt (Zegeer & Bushell, 2012), bspw. bei der Querung von Fahrstreifen und der Interaktion mit Fahrenden von Kraftfahrzeugen (Adminaité-Fodor & Jost, 2020). Eine Konsequenz dieses Risikos kann der Unfall zwischen zu Fuß gehenden Personen und Fahrenden von Kraftfahrzeugen sein (Rosén & Sander, 2009).

In Deutschland ist die Anzahl verunglückter zu Fuß gehender Personen rückläufig (siehe Abbildung 1-1). Während im Jahr 1980 noch 62.024 Personen beim Zufußgehen im Straßenverkehr verunglückten, reduzierte sich diese Anzahl auf 28.868 Personen im Jahr 2019 (Statistisches Bundesamt, 2022). Im Zeitraum zwischen 2010 und 2019 (vor der COVID-19-Pandemie) stagnierte die Anzahl verunglückter Personen beim Zufußgehen im Straßenverkehr auf einem Niveau von durchschnittlich ca. 30.000 Personen pro Jahr.

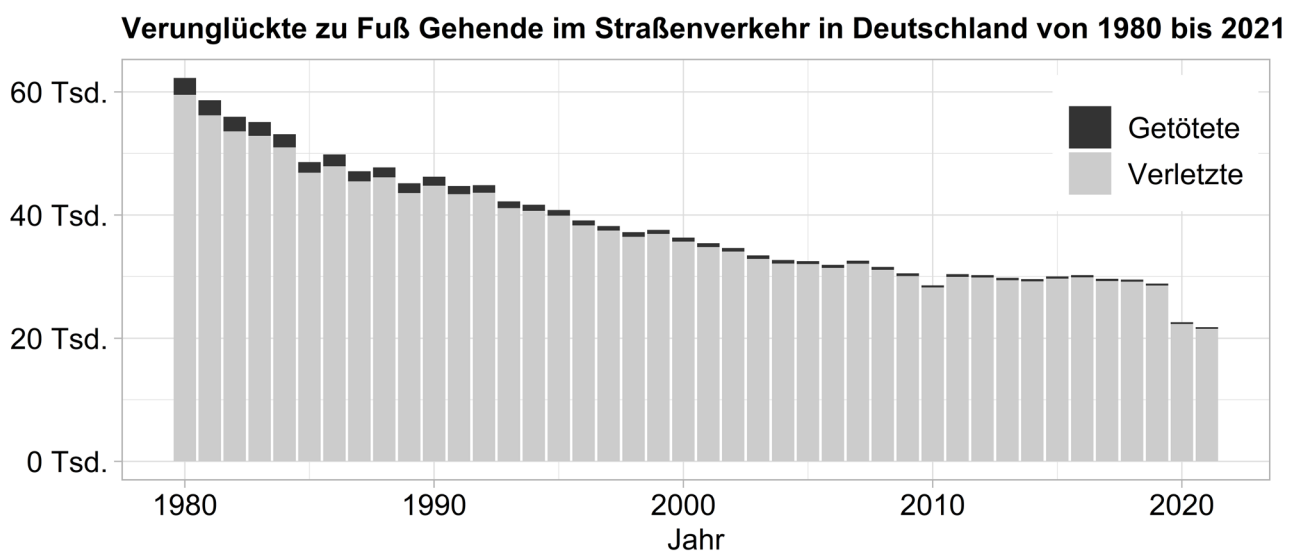


Abbildung 1-1: Zeitreihe der innerhalb von Ortschaften verunglückten zu Fuß Gehenden in Deutschland von 1980 bis 2021 (basierend auf den Daten von Statistisches Bundesamt, 2022)

---

Ein technologischer Megatrend, der die Steigerung der Verkehrssicherheit von Verkehrsteilnehmenden in urbanen Räumen verspricht (Fagnant & Kockelman, 2015), ist das hochautomatisierte Fahren (SAE International, 2021). Diese Automatisierungsstufe der Fahrzeugführungsaufgabe bedingt nicht nur die Ergänzung, sondern den zeitweisen vollständigen Ersatz des Menschen als fahrende Person (Faisal et al., 2019; Shladover, 2018), die sich in Konsequenz von der Fahrzeugführungsaufgabe abwenden kann (S. C. Lee et al., 2022). Damit induziert die Einführung hochautomatisierter Fahrzeuge in den Straßenverkehr eine technologische Veränderung im sozio-technischen System „Mensch-Fahrzeug-Umwelt“ des Straßenverkehrs, dessen Auswirkungen auf zu Fuß Gehende bisher unklar sind (Millard-Ball, 2018; Pettigrew et al., 2022).

Auswirkungen von Veränderungen im System des Straßenverkehrs auf den Menschen werden unter dem Begriff der Verhaltensanpassung im Forschungsfeld der Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Human Factors, Verkehrspsychologie und angrenzender Felder untersucht (Carsten, 2013; Lewis-Evans et al., 2013; OECD, 1990; Sullivan et al., 2016; Wege et al., 2014). In diesen Disziplinen bezeichnet eine Verhaltensanpassung *„Any change of driver, traveller, and travel behaviours that occurs following user interaction with a change to the road traffic system, in addition to those behaviours specifically and immediately targeted by the initiators of the change“* (Kulmala & Rämä, 2013, S. 20).

Durch den Ersatz des Menschen als fahrende Person beim hochautomatisierten Fahren kommt es dazu, dass die Automatisierung die Regelung der Längs- und Querbewegung (Hancock et al., 2020) sowie die Interaktion zwischen anderen Verkehrsteilnehmenden und Fahrzeug übernimmt (Domeyer et al., 2020; Ezzati Amini et al., 2021; Rasouli & Tsotsos, 2020; Schieben et al., 2019; Stanciu et al., 2018). Interaktionen im sozialen Raum des Straßenverkehrs basieren auf formellen und informellen Regeln (Merten, 1977b; Shor, 1964). Die informellen Regeln drücken sich in non-verbaler Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmenden bspw. mittels Augenkontakt, Gesten und Körperbewegungen aus (Färber, 2016; Sucha et al., 2017). Ein hochautomatisierter Pkw als neuer Agent in der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und Fahrzeug muss die Kommunikationslücke schließen, die aus dem Ersatz des Menschen als fahrende Person resultiert, d. h. es benötigt die Fähigkeit der Interaktion mit zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr (Habibovic et al., 2018; Joisten, Freund & Abendroth, 2020). Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS) des hochautomatisierten Pkw ergänzen oder ersetzen die Kommunikation von Mensch zu Mensch und werden beim hochautomatisierten Fahren auch Menschen im Außenraum des Pkw adressieren (Bengler et al., 2020). Die Gestaltung der MMS trägt zur Automationstransparenz von hochautomatisierten Pkw bei (Faas, Mathis & Baumann, 2020). Automationstransparenz beschreibt ein Gestaltungsprinzip von automatisierten Systemen, das darauf abzielt, ein Bewusstsein des Menschen über den Zustand, die Wahrnehmung und Absicht sowie die Fähigkeit des automatisierten Systems herzustellen (Lyons & Havig, 2014; Skraaning & Jamieson, 2021).

---

Die veränderte Rolle von Fahrenden beim hochautomatisierten Fahren und die damit einhergehende Entwicklung von MMS verändert im Speziellen die Kommunikation zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw. Für zu Fuß Gehende wirken sich diese Veränderungen nicht nur auf die Aufgabenstruktur bei der Interaktion aus (vgl. J. D. Lee & Seppelt, 2009), bspw. durch die Gestaltung der Automationstransparenz von niedrig bis hoch (vgl. Wilbrink et al., 2021) oder durch die Positionierung von MMS außerhalb des Fahrzeuginnenraumes (vgl. Eisma et al., 2020), sondern sie wirken sich auch auf die kognitiven und affektiven Reaktionen von zu Fuß Gehenden aus, die das System des hochautomatisierten Pkw als Interaktionspartner bewerten (Hulse et al., 2018; Penmetsa et al., 2019).

Die Auswirkungen der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw auf das Verhalten von zu Fuß Gehenden ist ein zeitlicher Prozess (Faas, Kao & Baumann, 2020; Tabone et al., 2021), d. h. das Verhalten verändert sich mit zunehmender Erfahrung des Menschen in der Interaktion (Clercq et al., 2019; Hochman et al., 2020). Für das Verständnis und die Untersuchung von Verhaltensanpassungen wird dem (zeitlichen) Prozess ihrer Entstehung eine zentrale Bedeutung zugesprochen (Vaa, 2013).

Damit das mit der Einführung automatisierter Fahrzeuge in den Straßenverkehr verbundene Versprechen der Erhöhung der Verkehrssicherheit aller Verkehrsteilnehmenden erfüllt werden und in Folge das stagnierende Niveau verunglückter zu Fuß gehender Menschen im Straßenverkehr weiter gesenkt werden kann, müssen Verhaltensanpassungen von Menschen hinsichtlich der Technologie des hochautomatisierten Fahrens im Straßenverkehr untersucht werden. Die empirische Untersuchung der Entwicklung des Verhaltens zu Fuß gehender Personen bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw bildet die zentrale Herausforderung, die in dieser Arbeit adressiert wird.

## **1.2 Ziele**

Um zu verhindern, dass die Einführung hochautomatisierter Fahrzeuge diametrale Effekte auf die Sicherheit und Effizienz des Fußverkehrs in Deutschland hat, ist das Ziel dieser Arbeit, das Verhalten zu Fuß Gehender bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw unter dem Aspekt der Entwicklung von Verhaltensanpassungen mit steigender Interaktionserfahrung des Menschen zu untersuchen. Im Speziellen wird das Verhalten zu Fuß Gehender unter dem Aspekt steigender Interaktionserfahrung (menschbezogener Aspekt) und der Automationstransparenz des automatisierten Systems (automationsbezogener Aspekt) untersucht und daraus Implikationen für die Forschung und Praxis abgeleitet.

---

Die Zielsetzungen sind zusammenfassend:

- Die Analyse des Einflusses von **steigender Interaktionserfahrung** zu Fuß Gehender bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw auf das menschliche Verhalten
- Die Bewertung des **Verhaltens von zu Fuß Gehenden** bei wiederholter Interaktion mit hochautomatisierten Pkw mittels subjektiver und objektiver Messgrößen in Abhängigkeit der **Automationstransparenz** eines hochautomatisierten Pkw
- Das Ableiten von **Implikationen** für die Einführung hochautomatisierter Pkw in den Straßenverkehr im Allgemeinen sowie bei der Interaktion mit zu Fuß Gehenden im Speziellen

### 1.3 Aufbau der Arbeit

Das *zweite Kapitel* dieser Arbeit beinhaltet den Stand der Forschung. Zunächst werden die Grundlagen der Verhaltensanpassung im Straßenverkehr beschrieben und zugehörige Theorien und Modelle dargelegt sowie deren Relevanz für zu Fuß Gehende im Straßenverkehr herausgearbeitet. Anschließend wird der zur Erreichung der Zielstellungen relevante Stand der Forschung zur Automatisierung des Pkw dargelegt. Nachfolgend wird das Verhalten von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr betrachtet und der Stand der Forschung zur Interaktion von zu Fuß Gehenden mit konventionellen (d. h. nicht automatisierten) Pkw beschrieben. Dem folgend werden ausgewählte menschliche Faktoren und der jeweilige Stand der Forschung zur Interaktion von zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw herausgearbeitet. Zum Abschluss des zweiten Kapitels wird die Forschungslücke beschrieben, daraus die Forschungsfragen abgeleitet und ein Arbeitsmodell dargelegt. Schließlich wird der Untersuchungsplan für die folgenden empirischen Untersuchungen beschrieben.

Das *dritte Kapitel* beinhaltet die erste empirische Untersuchung als Interviewstudie. Die Struktur dieses Kapitels umfasst die Darlegung von Methode und Material, die Präsentation der Ergebnisse und die Diskussion der jeweiligen Untersuchungsergebnisse und Forschungsmethodik.

Im *vierten Kapitel* wird das empirische Untersuchungsmodell präsentiert, das aus dem Stand der Forschung und der Interviewstudie abgeleitet wird. Aus der modelltheoretischen Betrachtung werden Hypothesen für die zweite Untersuchung hergeleitet.

Im *fünften Kapitel* wird die zweite empirische Untersuchung als kontrollierter Feldtest präsentiert. Die Struktur des Kapitels umfasst die Darlegung von Methode und Material, die Präsentation der Ergebnisse und die Diskussion der jeweiligen Untersuchungsergebnisse und Forschungsmethodik.

Die Erkenntnisse der Arbeit werden im *sechsten Kapitel* diskutiert. Die allgemeine Diskussion der Arbeit umfasst die Diskussion zu den Forschungsfragen und zum methodischen Vorgehen. Neben einer kritischen Würdigung der empirischen Befunde erfolgt dabei auch die Bewertung der Aussagekraft der Ergebnisse der Arbeit. Abschließend werden Implikationen für die Forschung und Praxis erörtert und ein Fazit gezogen.

---

Die wesentlichen Begriffe und Definitionen, die dieser Arbeit zugrunde liegen, sind in einem Glossar am Ende der Arbeit zusammengefasst. Die zu den Untersuchungen zugehörigen Datensätze sind im Verzeichnis der Datensätze am Ende der Arbeit hinterlegt. In Abbildung 1-2 ist der Aufbau der Arbeit dargelegt.

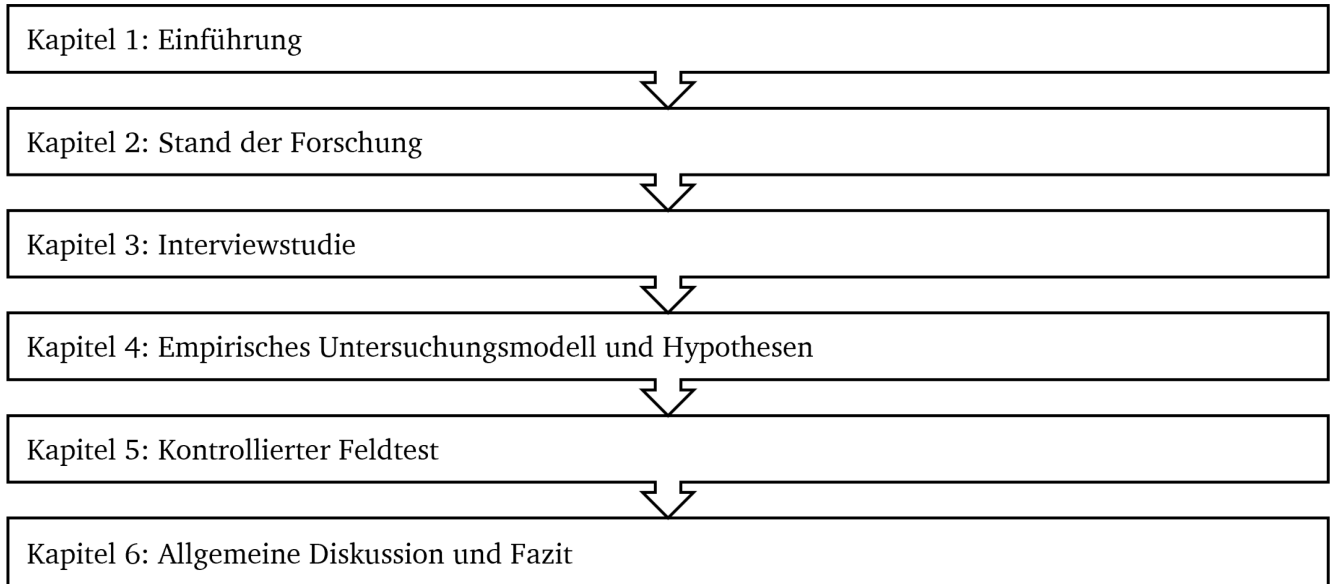


Abbildung 1-2: Aufbau der Arbeit

---

## 2 Stand der Forschung

---

Dieses Kapitel beinhaltet den zur Erreichung der Zielstellungen relevanten Stand der Forschung. Zunächst werden in Kapitel 2.1 die theoretischen Grundlagen von *Verhaltensanpassungen zu Fuß Gehender im Straßenverkehr* adressiert. In Kapitel 2.2 wird der relevante Stand der Forschung zur *Pkw-Automatisierung* wiedergegeben. Anschließend wird die *Interaktion von zu Fuß Gehenden mit Pkw-Fahrenden* in Kapitel 2.3 adressiert, um eine Ausgangsbasis zu der Beschreibung von Verhaltensanpassungen bei der *Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und automatisiertem Pkw* in Kapitel 2.4 zu schaffen. In diesem Kapitel werden ausgewählte menschliche Faktoren und der jeweilige Stand der Forschung herausgearbeitet. Der Überblick zum Stand der Forschung schließt in Kapitel 2.5 mit der Identifikation der *Forschungslücke* sowie der Ableitung von *Forschungsfragen*.

### 2.1 Verhaltensanpassungen im Straßenverkehr

Verhaltensanpassungen im Straßenverkehr wurden bislang vorwiegend in der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion untersucht (Sullivan et al., 2016; Wege et al., 2014). Daraus entwickelte sich ein Verständnis von und darüber hinaus Erklärungsansätze für Verhaltensanpassungen im Straßenverkehr (Carsten, 2013; Lewis-Evans et al., 2013).

Diesbezüglich wird in Kapitel 2.1.1 der Forschungsgegenstand der *Verhaltensanpassung definiert* und anschließend in Kapitel 2.1.2 ausgewählte *Modelle zur Beschreibung und Erklärung* von Verhaltensanpassungen präsentiert. Die *Bildung und Entwicklung von Verhaltensanpassungen* werden in Kapitel 2.1.3 behandelt.

#### 2.1.1 Definition

**Verhalten** wird in dieser Arbeit als motorische Aktivität des Menschen und allgemeine menschliche Reaktion definiert (Kaiser, 2017), das das Erleben sowie insbesondere die damit verbundenen kognitiven Vorgänge im menschlichen Organismus als einen Aspekt des Verhaltens einbezieht.

#### Definition der Verhaltensanpassung im Straßenverkehr

Im Kontext des Straßenverkehrs ist eine **Verhaltensanpassung** „Any change of *driver, traveller, and travel* behaviours that occurs following *user interaction* with a change to the road traffic system, *in addition to those behaviours specifically and immediately targeted* by the initiators of the change“ (Kulmala & Rämä, 2013, S. 20). Diese Definition hebt hervor, dass Verhaltensanpassungen auf verschiedenen Ebenen des Verhaltens auftreten (Fahr-, Reise- und Verkehrsverhalten) und alle Menschen als Teilnehmende des Straßenverkehrs betreffen, also neben Fahrenden von Fahrzeugen insbesondere auch andere Betroffene, insbesondere auch zu Fuß Gehende. Des Weiteren hebt die Definition einen zeitlichen Verlauf der Verhaltensanpassung hervor, d. h. sie folgt nach der Interaktion des Menschen mit der

---

Veränderung des Systems (OECD, 1990) und ist damit mit Erfahrung des Menschen bei der Interaktion mit dem System verbunden. Darüber hinaus bezieht sich die Definition nicht auf die von den Initiatoren der Veränderung intendierte Verhaltensanpassungen, die sogenannten direkten Verhaltensanpassungen (Martens & Jenssen, 2012). In diesem Zusammenhang beschreibt der „*engineering effect*“ die Auswirkungen der direkten Verhaltensanpassung (Elvik et al., 2009), die oft auch den Nutzen der eingeführten Veränderung beschreiben. Forschungen zu Verhaltensanpassungen im Straßenverkehr untersuchen hingegen oft die nicht intendierten Auswirkungen der Interaktion mit Veränderungen im System Mensch-Fahrzeug-Umwelt, weil diese im Fall negativer Auswirkungen dem beabsichtigten Nutzen entgegenstehen können (Rudin-Brown, 2010) und so diametrale Effekte für die Verkehrssicherheit haben können. Dies schließt die Untersuchung von positiven Effekten unter dem Phänomen der nicht intendierten Verhaltensanpassung im Straßenverkehr jedoch nicht aus.

### **Typen der Verhaltensanpassung im Straßenverkehr**

Für die Untersuchung von Verhaltensanpassungen von Fahrenden bei der Interaktion mit Fahrerassistenzsystemen (FAS) unterscheiden Martens und Jenssen (2012) sechs Typen von Anpassungen des Verhaltens. Diese umfassen neben beobachtbaren (und objektiv messbaren) Verhalten und daraus resultierende (Re-)Aktionen auch die mit der Informationsverarbeitung des Menschen verbundenen, nicht-beobachtbaren Prozesse (vgl. Schlick et al., 2018), die das menschliche Verhalten determinieren. Folgende Typen von Verhaltensanpassungen werden unterschieden (angelehnt an Martens & Jenssen, 2012):

- Anpassungen der Wahrnehmung (Sehen, Hören, Fühlen)
- Anpassungen der Kognition (Verständnis, Interpretation, Priorisierung, Auswahl, Entscheidung)
- Anpassungen der (Re-)Aktionen (Bewegung, Bedienung / Interaktion mit dem System, Fehler)
- Anpassungen des Zustandes (Aufmerksamkeit, Beanspruchung, Stress, Müdigkeit)
- Anpassungen der Einstellung (Vertrauen, Akzeptanz)
- Anpassungen in Abhängigkeit der Umweltbedingungen (Wetter, Sichtbarkeit, etc.)

Es wird vermutet, dass die Typen der Verhaltensanpassung in einem (kausalen) Zusammenhang stehen, welche bei der Untersuchung von Verhaltensanpassungen berücksichtigt werden sollten (Metz et al., 2020). Beispielhaft könnte ein erhöhtes Vertrauen von zu Fuß Gehenden in automatisierte Fahrzeuge (Anpassung der Einstellung) zur Wahl von kleineren zeitliche Lücken zwischen Mensch und Fahrzeug bei der Querung führen (Anpassung der Kognition - Entscheidung) oder sich in der verminderten Nutzung von Handgesten in der Interaktion manifestieren (Anpassung der (Re-)Aktionen - Interaktion mit dem System; angelehnt an das Beispiel von Metz et al., 2020, zur Fahrer-Fahrzeug-Interaktion).



## 2.1.2 Theoretische Grundlagen

Theorien und Modelle zur Beschreibung und Erklärung von Verhaltensanpassungen gehen auf die empirische Beobachtung von Taylor (1964) zurück, der in der galvanischen Hautreaktion von Fahrenden den Ausdruck eines subjektives Risikos vermutete, anhand dessen Fahrende ihre Handlungen bei der Fahrzeugführungsaufgabe anpassen (Carsten, 2013). Hieraus entwickelten sich Theorien der Verhaltensanpassung von Pkw-Fahrenden, die das Risiko als zentrale Variable definieren (Fuller, 1984; Jiang et al., 1992; Näätänen & Summala, 1974; van der Molen & Bötticher, 1988; Wilde, 1982). Einen Überblick zu Modellen und Theorien der Verhaltensanpassung von Fahrenden bei der Interaktion mit FAS bieten bspw. Sullivan et al. (2016). Das Modell der Risiko-Homöostase von Wilde (1982) ist eine der frühen Erklärungsansätze der Verhaltensanpassung im Straßenverkehr (Trimpop, 1996).

### Modell der Risiko-Homöostase

Die zentrale Annahme des *Modells der Risiko-Homöostase* von Wilde (1982) ist, dass Menschen (bzw. Fahrende) ein Zielniveau des subjektiv akzeptierten Risikos in einer Fahrsituation haben und ihr Verhalten so anpassen, dass ihr wahrgenommenes Risiko ihrem Zielrisiko entspricht (siehe Abbildung 2-1). Den Gleichgewichtszustand aus akzeptiertem Risiko und wahrgenommenem Risiko bezeichnet Wilde (1982) als Homöostase, wobei er Risiko mit Unsicherheit über ein zukünftiges Ergebnis definiert. Die Einführung von technologischen Sicherheitssystemen im Fahrzeug könnte bspw. das wahrgenommene Risiko von Fahrenden in Fahrsituationen beeinflussen, woraufhin sie ihr Verhalten bei der Fahrzeugführung so anpassen, bspw. durch die angepasste Wahl der Fahrzeuggeschwindigkeit, sodass sie das akzeptierte und wahrgenommene Risiko im Gleichgewicht halten.

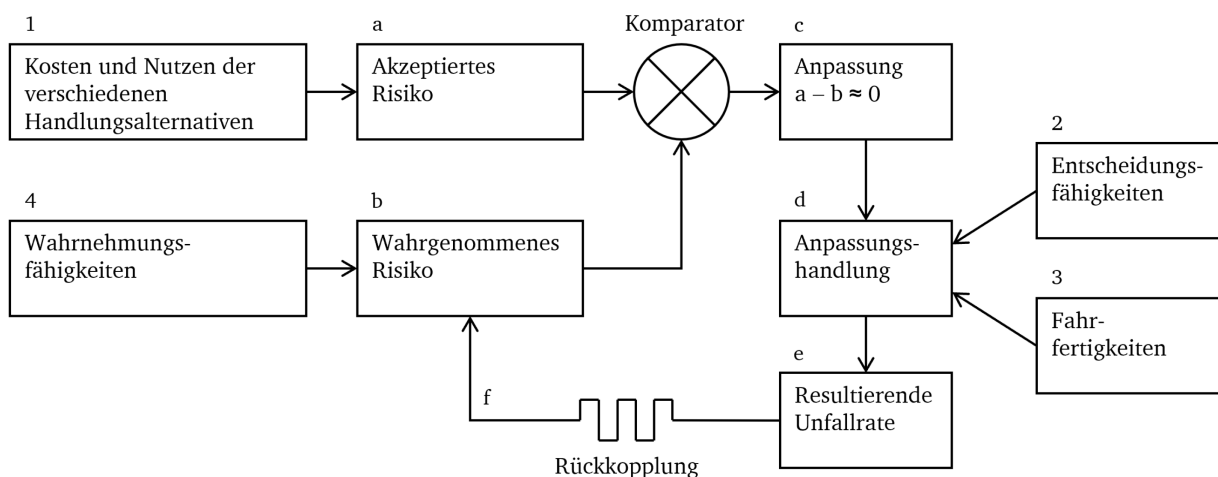


Abbildung 2-1: Modell der Risiko-Homöostase (Wilde, 1998); aus dem Englischen übersetzt durch Schlag (2006); Nachdruck aus „Risk homeostasis theory: an overview“, Wilde G.J.S., 1998, *Injury Prevention*, 4, 89-91, mit Genehmigung der BMJ Publishing Group Ltd.

Neuere Theorien und Modelle der Verhaltensanpassung von Menschen im Straßenverkehr legen weniger Gewicht auf das Risiko als zentrale Wirkgröße der Bildung von Verhaltensanpassungen und erweitern die Mechanismen um kognitive Prozesse bei der Informationsverarbeitung sowie motivationale und emotionale Aspekte (Cotter & Mogilka, 2007; Rothengatter, 1988; Vaa, 2013). Zusätzlich zu den kognitiven, motivationalen und energetischen Prozessen des Menschen berücksichtigen moderne Theorien und Modell auch externe Faktoren, die bspw. aus sozialen Normen bei der Nutzung des Systems resultieren, sowie Persönlichkeitsmerkmale zur Beschreibung und Erklärung von Verhaltensanpassungen (Wege et al., 2014).

### Qualitatives Modell der Verhaltensanpassung

Das *Qualitative Modell der Verhaltensanpassung* von Rudin-Brown und Noy (2002) ist ein Vertreter neuerer Erklärungsansätze der Verhaltensanpassung von Fahrenden bei der Interaktion mit FAS (siehe Abbildung 2-2). Das Modell beschreibt den Informationsfluss als einen Prozess innerhalb von drei Komponenten Menschen, Verhalten und externer Umwelt (dem Objekt des Verhaltens). Das Modell postuliert, dass das Vertrauen des Menschen deren mentales Modell bzw. mentale Repräsentation von Verhalten und Objekt beeinflusst. Gleichzeitig zeigt das Modell den Einfluss von Persönlichkeitseigenschaften (insb. der Sensationssuche und der Kontrollüberzeugung) zur Entstehung von Verhaltensanpassungen auf. Des Weiteren berücksichtigt das Modell eine zeitliche Komponente der Verhaltensanpassung, indem es einen Zusammenhang zwischen direktem (durch Erfahrung bei der Interaktion mit dem System) oder indirektem Feedback (durch Informationen von anderen Personen, Medien oder Aufklärungskampagnen zum Objekt oder Verhalten) und der Entstehung von Verhaltensanpassungen postuliert.

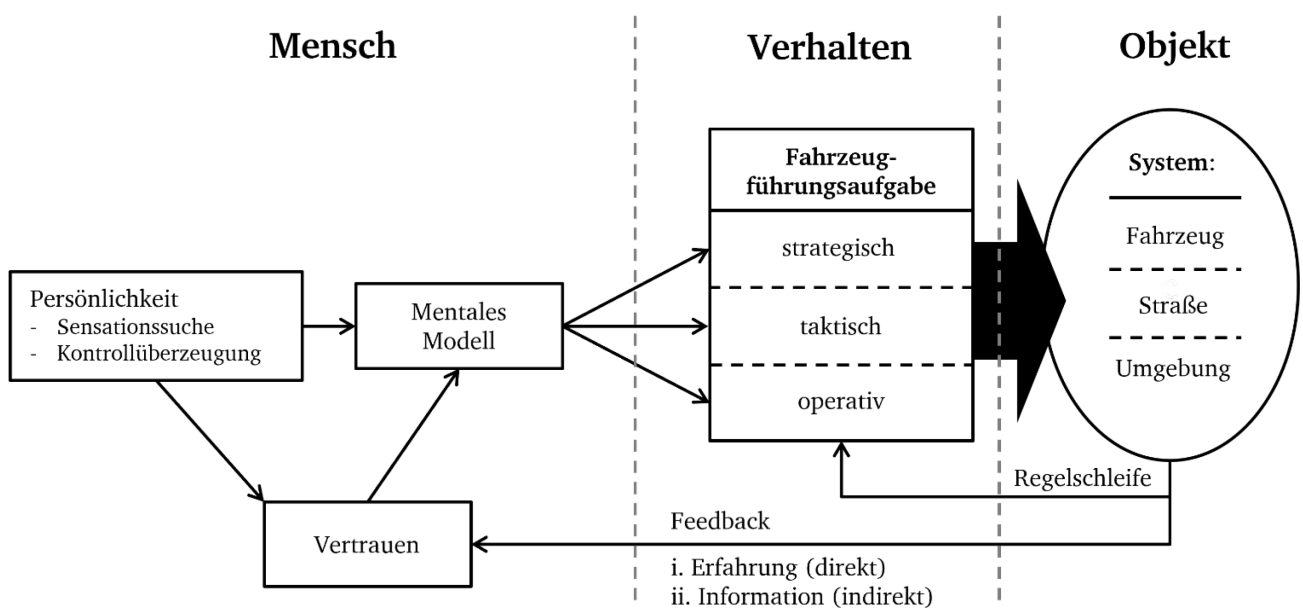


Abbildung 2-2: Qualitatives Modell der Verhaltensanpassung nach Rudin-Brown und Noy (2002); aus dem Englischen übersetzt durch den Autor

### 2.1.3 Bildung und Entwicklung von Verhaltensanpassungen

Verhaltensanpassungen besitzen eine zeitliche Dimension, deshalb ist für das Verständnis von Verhaltensanpassungen der Prozess zur Bildung oder Entwicklung einer Verhaltensanpassung wichtig (Vaa, 2013). In Anlehnung an den Prozess zum Erlernen von Fähigkeiten der menschlichen Motorik unterscheiden Manser et al. (2013) unmittelbare, kurzfristige und langfristige Verhaltensanpassungen. Während sich unmittelbare Verhaltensanpassungen direkt mit der oder im Anschluss an die Interaktion mit einer Veränderung im System Mensch-Fahrzeug-Umwelt manifestieren, wird der Zeitraum von kurzfristigen (oftmals Stunden, Tage oder Wochen) und langfristigen Verhaltensanpassungen (oftmals Monate oder Jahre) nicht klar definiert.

Für die Interaktion von Fahrenden mit FAS grenzen Martens und Jenssen (2012) fünf Phasen ab, die sie mit dem Lernprozess des Menschen gleichsetzen (siehe Tabelle 2-1). Der Zeitrahmen dieses Lernprozesses reicht dabei von der ersten Begegnung mit dem System, d. h. wenige Minuten oder Stunden der Interaktion, bis zur Nutzung des Systems über mehrere Jahre. Ein wichtiger Faktor, der diesen Prozess begleitet, sind die Szenarien, in denen der Mensch mit dem System interagiert. Diese Szenarien reichen von dem erstmaligen Erleben der grundlegenden Funktionen des Systems bis hin zum Erleben selten auftretender Limitationen des Systems.

Tabelle 2-1: Charakteristik der Phasen der Bildung und Entwicklung einer Verhaltensanpassung (Martens & Jenssen, 2012)

Phase des Lernens	Verhalten	Dauer	Szenarien	Typisches Lernen
1. Erste Begegnung	Explorativ	Erster Tag, 1-6 Stunden	Limitiert	Verwendung des Interfaces
2. Lernen	Instabil	3-4 Wochen, 10-40 Stunden	Die meisten Szenarien bei Tag und Nacht	Kontrollierbarkeit
3. Vertrauen	Relativ stabil	1-6 Monate	Die meisten Szenarien bei unterschiedlichen Wetterbedingungen	Vertrauenskalibrierung
4. Justierung	Stabil	6-12 Monate	Alle Szenarien und Jahreszeiten	Funktionale Limitationen, Fehlfunktionen
5. Neuausrichtung	Sehr stabil	> 1-2 Jahre	Alle relevanten Szenarien	Selten auftretende Gefahrensituationen, Limitationen des Systems

Bei der Bildung und Entwicklung von Verhaltensanpassungen kann keine einfache Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen den Typen der Verhaltensanpassung angenommen werden (Metz et al., 2020), bspw. hinsichtlich der Einstellung einer Person als Ursache für das Verhalten. Diesbezüglich modelliert die Akzeptanzforschung zur Nutzung von automatisierten Systemen dynamische Wechselwirkungen zwischen Einstellung und Nutzungsintention einer Person, die sich in der zeitlichen Dimension auf der Mikroebene (bspw. Millisekunden bis Sekunden), der Mesoebene (bspw. Sekunden bis Minuten und

---

Minuten bis Stunden) und der Makroebene (Stunden bis Tage und Tage bis Monate) vollziehen (Ghazizadeh et al., 2012). So kann zum Beispiel das Verhalten einer zu Fuß gehenden Person bei der Interaktion mit einem hochautomatisierten Pkw in der ersten Mensch-Maschine-Begegnung (Mikroebene) Auswirkungen auf die Bildung einer Einstellung gegenüber dem hochautomatisierten System haben (Mesoebene), die sich langfristig durch Wiederholung und Lernen in einer Verhaltensanpassung (Makroebene) manifestiert.

### **Fazit zu Kapitel 2.1: Verhaltensanpassungen im Straßenverkehr**

Die Definition der Verhaltensanpassung im Straßenverkehr umfasst alle Verkehrsteilnehmenden, die im System Mensch-Fahrzeug-Umwelt interagieren und ihr Verhalten in Folge von Systemveränderungen anpassen. Die zeitliche Komponente der Verhaltensanpassung wird in kurzfristige nach der ersten Interaktion bis hin zu langfristige, d. h. erst nach Jahren der Interaktion, auftretende Effekte unterschieden und modelliert.

Theorien und empirische Befunde des Forschungsfeldes konzentrieren sich bisher auf Fahrzeug-Fahrende. Weiterhin ist unklar, wie und ob verschiedene Typen der Verhaltensanpassung in einem (kausalen) Zusammenhang stehen.

## **2.2 Automatisierung der Pkw-Führungsaufgabe**

Der Begriff Pkw-Automatisierung bezieht sich auf die teilweise Ergänzung bis vollständigen Ersatz des Menschen in der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe (Faisal et al., 2019; Shladover, 2018). Das dynamische Führen eines Pkw im Straßenverkehr verlangt die Ausführung verschiedener Aufgaben, wie bspw. die Lokalisation in einem Umfeld, die Wahrnehmung von Objekten, die Planung von Manövern und die Kontrolle sowie die Ausführung von (Re-)Aktionen (Coppola & Morisio, 2016).

### **2.2.1 Automatisierung der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe**

Die dynamische Fahrzeugführungsaufgabe umfasst im Sinne dieser Arbeit alle Aufgaben, die für den Betrieb eines Kraftfahrzeugs im Straßenverkehr notwendig sind (vgl. SAE International, 2021). Die Beschreibung der Fahrzeugführungsaufgabe bildet die Basis, um deren Automatisierung und die Aufgaben und Rollen des Menschen dabei nachzuvollziehen (Bubb, 2015a).

Ein konzeptuelles Modell der Fahrzeugführungsaufgabe ist eine dreiteilige Hierarchie, die aus der *strategischen Ebene*, der *Manöverebene (taktische Ebene)* und der *Steuerungsebene (operative Ebene)* besteht (Michon, 1985). Die strategische Ebene ist auf der höchsten Stufe der Hierarchie angesiedelt und umfasst alle Aufgaben, die der generellen Planung einer Fahrt zuzuordnen sind, wie bspw. die Planung der Ziele der Fahrt und der Route. Entscheidungen, die auf der strategischen Ebene getroffen werden, fließen in die Manöverebene ein, die in der Hierarchie unterhalb der strategischen Ebene liegt. Die Aufgaben auf der Manöverebene beziehen sich auf die Handlungen, die Fahrende aufgrund von Interaktionen mit der statischen Umwelt (bspw. Verkehrszeichen und Straßenführung) und

---

dynamischen Umwelt (bspw. andere Verkehrsteilnehmende) ausführen (van der Horst, 2013). Auf der untersten Stufe der Hierarchie, der Steuerungsebene, sind Aufgaben angesiedelt, die die Kontrolle des Fahrzeugs in Quer- und Längsbewegung betreffen (Abendroth, 2001; Donges, 1982; Michon, 1985). Nach dem Industriestandard der SAE International (2021) umfasst die dynamische Fahrzeugführungsaufgabe alle Aufgaben der operativen und taktischen Ebene, die für den Betrieb eines Kraftfahrzeugs im Straßenverkehr notwendig sind. Folgende Teilaufgaben der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe werden unterschieden (SAE International, 2021):

- Steuern der Fahrzeugquerbewegung über die Lenkung (operative Ebene)
- Steuern der Fahrzeuglängsbewegung durch Beschleunigen und Bremsen (operative Ebene)
- Überwachen der Fahrumgebung über Objekt- und Ereignisdetektion, -erkennung, -klassifizierung und Reaktionsvorbereitung (operative und taktische Ebene)
- Ausführen von Reaktionen auf Objekte und Ereignisse (operative und taktische Ebene)
- Planen von Manövern (taktische Ebene)
- Erhöhen der Auffälligkeit durch Beleuchtung, Signalgebung etc. (taktische Ebene)

Basierend auf dieser Klassifizierung leitet der Industriestandard sechs Level der Fahrzeug-Automatisierung ab und beschreibt für jedes Level die Rolle von Nutzenden des Fahrzeugs und des automatisierten Fahrzeugs (SAE International, 2021). Während auf dem niedrigsten Level alle oben genannten Aufgaben der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe vom Menschen im Fahrzeug ausgeführt werden (SAE Level 0, *konventioneller Fahrmodus, engl. no driving automation*), werden auf dem höchsten Level alle Aufgaben in jeder Fahrumgebung und zu jedem Zeitpunkt durch die Automatisierung ausgeführt (SAE Level 5, *vollautomatisierter Fahrmodus, engl. full driving automation*). Bei einer Automatisierung des vierten Levels (SAE Level 4) können alle Aufgaben der dynamischen Fahrzeugführung zu jedem Zeitpunkt, jedoch nur in bestimmten operativen Betriebsbereichen, von der Automatisierung ausgeführt werden. Dieses Level der Fahrzeug-Automatisierung ist als *hochautomatisiertes Fahren* bzw. *hochautomatisierter Fahrmodus (engl. high driving automation)* definiert.

Kommt es zu einem Übergang in der Ausführung der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe zwischen Nutzenden und Automation, bspw. aufgrund von Automationsfehlern oder Übergängen des operativen Betriebsbereichs, muss ab dem Automationslevel SAE Level 3 und niedriger der Mensch die dynamische Fahrzeugführungsaufgabe von dem automatisierten Fahrzeug übernehmen (SAE Level 3, *bedingt automatisierter Fahrmodus, engl. conditional driving automation*).

---

Im Sinne der *Ironies of Automation* (Bainbridge, 1983) führt die Automatisierung der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe nicht per se zur Elimination der Probleme, die mit dem menschlichen Faktor verbunden sind. Durch Veränderungen des Feedbacks, Veränderungen der Aufgaben bzw. Aufgabenstruktur und der kognitiven sowie affektiven Reaktion des Menschen (J. D. Lee & Seppelt, 2009) entstehen neue Herausforderungen für den Menschen bei der Interaktion mit automatisierten Systemen. Um diesen Herausforderungen zu begegnen und somit die erfolgreiche Automatisierung der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe zu realisieren, wurde das Prinzip der Automationstransparenz vorgeschlagen, um eine effektive, effiziente und zufriedenstellende Interaktion zwischen Menschen und automatisierten Fahrzeugen zu ermöglichen (Naujoks et al., 2019).

### 2.2.2 Automationstransparenz

Der Begriff Automationstransparenz beschreibt ein Prinzip in der Gestaltung von automatisierten Systemen, das darauf abzielt, ein Bewusstsein des Menschen über den Zustand, die Wahrnehmung und Absicht sowie die Fähigkeit des automatisierten Systems herzustellen (Lyons & Havig, 2014; Skraaning & Jamieson, 2021). Das Prinzip geht aus der Literatur über Unsicherheit bei der Bedienung von automatisierten Systemen hervor (Norman, 1990) und wird auch unter dem Aspekt des Vertrauens von Menschen in automatisierte Systeme behandelt (Hoff & Bashir, 2015). Die Bereitstellung von Informationen über das automatisierte System soll menschliche Bedienungsfehler vorbeugen (Wickens, 2018), zu einem kalibrierten Vertrauen des Menschen in das System führen (Hoff & Bashir, 2015) und das Verständnis des Menschen hinsichtlich des Systems fördern (Seong & Bisantz, 2008), sodass eine effektive und effiziente Nutzung des Systems durch den Menschen möglich ist (Lyons & Havig, 2014). Die Systemeigenschaft der Automationstransparenz ist keine singuläre Variable, sondern umfasst eine Menge von Informationen, die sich an eine dynamische Umwelt und den Menschen darin anpassen soll (Fischer et al., 2018). Um einen Überfluss an Informationen zu verhindern und nur relevante Informationen zur jeweiligen Situation darzubieten, sollte der Typ und die Menge an Informationen bei der Gestaltung der Automationstransparenz berücksichtigt werden. Diesbezüglich schlägt Lyons (2013) eine Klassifikation der Automationstransparenz vor, die die Typen „Maschine zu Mensch“-Transparenz und „Maschine von Mensch“-Transparenz beinhaltet. Die „Maschine zu Mensch“-Transparenz umfasst das intentionale Modell, das aufgabenbezogene Modell, das analytische Modell und das umweltbezogene Modell. Die „Maschine von Mensch“-Transparenz beinhaltet das Teamwork-Modell und das Modell des Zustands des Menschen. Die Klassifikation mit den zugehörigen Modellen und Informationen der Automationstransparenz werden in Tabelle 2-2 erläutert.

Tabelle 2-2: Klassifikation der Automationstransparenz nach Lyons (2013); angelehnt an Pokam et al., 2019

Typ	Modell	Informationen über
„Maschine zu Mensch“- Transparenz	Intentionales Modell	den übergeordneten Zweck und die damit verbundenen wichtigsten Funktionalitäten der Maschine
	Aufgabenbezogenes Modell	die Ziele der Maschine und den Fortschritt der Zielerreichung, das Bewusstsein über die Fähigkeiten der Maschine und die Kenntnis von Fehlern
	Analytisches Modell	die analytischen Prinzipien, die den Entscheidungen der Maschine zu Grunde liegen
	Umweltbezogenes Modell	das Verständnis der Maschine von seiner Umgebung und die darin bestehenden zeitlichen Randbedingungen
„Maschine von Mensch“- Transparenz	Teamwork-Modell	die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine für eine bestimmte Aufgabe
	Modell des Zustands des Menschen	den kognitiven, emotionalen und physischen Zustand des Menschen

Die Transparenz eines automatisierten Systems wird insbesondere über die Übermittlung von Informationen an Menschen hergestellt (Fischer et al., 2018). Im Kontext der Fahrzeug-Automatisierung werden die MMS des Fahrzeugs zur Übermittlung von Informationen an den Menschen verwendet (Bengler et al., 2020).

### 2.2.3 Mensch-Maschine-Schnittstellen von automatisierten Pkw

Eine MMS bzw. Benutzungsschnittstelle ist definiert als die „Gesamtheit der Bestandteile eines interaktiven Systems, die Informationen und Steuerelemente zur Verfügung stellen, die für den Benutzer notwendig sind, um bestimmte Aufgabe mit dem interaktiven System zu erledigen“ (Deutsches Institut für Normung e.V., 2020a, S. 10). Eine grundlegende Einteilung der Benutzungsschnittstelle eines Fahrzeugs erfolgt in Anzeigen, die Informationen des Systems an Menschen übermitteln, Bedienelemente, die die Eingaben des Menschen verarbeiten und eine Bedienlogik, die die Beziehungen zwischen Eingaben, Ausgaben und kontextuellen Parametern spezifiziert (Bengler et al., 2020; Bruder & Didier, 2015).

Nutzende von automatisierten Pkw können sich ab dem SAE Level 3 der Fahrzeugautomatisierung von der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe abwenden und fahrfremde Tätigkeiten ausführen (Radlmayr et al., 2014), wodurch sich die Anforderungen an die Gestaltung der MMS des Pkw verändern (Bengler et al., 2020; Carmona et al., 2021; Dey, Habibovic, Löcken et al., 2020). Einhergehend mit der Automatisierung der Fahrzeugführungsaufgabe entwickelten sich die MMS des Pkw nicht nur im Fahrzeuginnenraum, bspw. als Schnittstelle für die Ausführung von fahrfremden Tätigkeiten oder

---

Transitionen in der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe zwischen Mensch und Maschine, sondern auch in Bezug auf den Fahrzeugaußenraum (Cacciabue et al., 2014; Rouchitsas & Alm, 2019). So bedingt der Übergang von Fahren eines Pkw hin zu Nutzenden bzw. Passagieren eines hochautomatisierten Pkw, dass die kommunikative Funktion des Menschen im Straßenverkehr durch das automatisierte System substituiert werden muss, weil ein Unterlassen von Kommunikation, zum Beispiel bei Störungen des Verkehrsflusses, der mit der Automatisierung angestrebten Erhöhung von Sicherheit und Effizienz im Straßenverkehr entgegenstehen würde (Joisten, Freund & Abendroth, 2020). Für das automatisierte Fahren schlagen Bengler et al. (2020) eine Klassifikation von MMS vor, die die oben skizzierte Erweiterung der MMS des Fahrzeugs auf den Außenraum berücksichtigt. Für die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden, die sich außerhalb des Pkw befinden, wird die *externe MMS* (eMMS) und *dynamische MMS* (dMMS) genutzt. Die dMMS, die sowohl Fahrzeugnutzende als auch andere Verkehrsteilnehmende adressiert, übermittelt über die Fahrzeugbewegung Informationen an Menschen im Innen- und Außenraum. Unter dem Begriff eMMS werden in wissenschaftlichen Veröffentlichungen, Medien, Patenten und Industriekonzepten solche MMS-Gestaltungslösungen zusammengefasst, die für die explizite Kommunikation von (automatisierten) Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden genutzt werden (Dey, Habibovic, Löcken et al., 2020). Die eMMS eines (automatisierten) Fahrzeugs sind zum einen konventionelle eMMS, wie bspw. die Bremsleuchte am Fahrzeugheck oder Fahrtrichtungsanzeiger, und zum anderen neue, nicht standardisierte eMMS-Gestaltungslösungen, die über die normierten Signale der eMMS eines Fahrzeugs an andere Verkehrsteilnehmende hinausgehen (Y. M. Lee et al., 2022).

#### 2.2.4 Signale der MMS eines automatisierten Pkw an andere Verkehrsteilnehmende

Signale von eMMS und dMMS eines automatisierten Pkw können nach den Inhalten der Kommunikation sowie nach der Art und Weise der Informationsübermittlung bzw. nach dem Design der Kommunikationsschnittstelle unterschieden werden (Joisten, Freund & Abendroth, 2020).

##### **Kommunikationsinhalte der MMS**

Schieben et al. (2019) unterscheiden vier Kategorien von Informationen, die ein automatisiertes Fahrzeug an andere Verkehrsteilnehmende signalisieren kann.

Durch (A) *Informationen über den Automationsstatus* des Fahrzeugs können zu Fuß Gehende einen hochautomatisierten Pkw von anderen konventionellen (d. h. nicht-automatisierten; SAE International, 2021) Pkw unterscheiden und dessen automatisierten oder konventionellen Fahrmodus erkennen (Faas, Mathis & Baumann, 2020; Joisten, Alexandi et al., 2020; Y. Liu et al., 2020). Die Information über den Automationsstatus ist ein neuer Inhalt der Kommunikation, der erst durch die Einführung hochautomatisierter Fahrzeuge in den Straßenverkehr relevant wird (Joisten, Alexandi et al., 2020). Demgegenüber werden Informationen über (B) *nächste Fahrzeugmanöver*, (C) die *Wahrnehmung der*



Fahrumgebung sowie (D) die *Kooperationsfähigkeit* bereits heute von Pkw-Fahrenden kommuniziert, bspw. über die Indikation eines Fahrstreifenwechsels mit der Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers, Blickkontakt mit anderen Verkehrsteilnehmenden und auffordernde Handgesten von Pkw-Fahrenden (Stanciu et al., 2018).

In Tabelle 2-3 wird diese Kategorisierung den Typen und Modellen der Automationstransparenz nach Lyons (2013) gegenübergestellt.

Tabelle 2-3: Kommunikationsinhalte von automatisierten Fahrzeugen nach Schieben et al. (2019) und deren Einordnung zu Typ und Modell der Automationstransparenz nach Lyons (2013)

Informationskategorie (Schieben et al., 2019)	Erläuternde Beispiele	Typ und Modell der Automations- transparenz (Lyons, 2013)
(A) Automationsstatus	(funktionaler) Status des automatisierten Systems („aktiviert“ / „nicht aktiviert“; vgl. Joisten, Alexandi et al., 2020)	„Maschine zu Mensch“-Transparenz: intentionales Modell
(B) Nächste Fahrzeugmanöver	Abbiegen über den Fahrtrichtungsanzeiger (Y. Liu et al., 2020)	„Maschine zu Mensch“-Transparenz: aufgabenbezogenes Modell
	Abbremsen des Fahrzeugs (Dey, Habibovic, Löcken et al., 2020)	
(C) Wahrnehmung der Fahrumgebung	Wahrnehmung von anderen Verkehrsteilnehmenden (Merat et al., 2018)	„Maschine zu Mensch“-Transparenz: umweltbezogenes Modell
	Situationsbewusstsein des automatisierten Fahrzeugs (Dey, Habibovic, Löcken et al., 2020)	
(D) Kooperationsfähigkeit	Intention des automatisierten Fahrzeugs anzuhalten oder nicht anzuhalten (Y. Liu et al., 2020)	„Maschine zu Mensch“-Transparenz: aufgabenbezogenes Modell
	Hinweis an andere Verkehrsteilnehmende vor dem Fahrzeug zu queren oder nicht zu queren (Clamann et al., 2017)	

Erste internationale Standardisierungsarbeiten deuten darauf hin, dass ein automatisiertes Fahrzeug den Automationsstatus anzeigen sollte, sobald es im bedingt, hoch- oder vollautomatisierten Fahrmodus fährt (SAE International, 2019). Empirische Untersuchungen zu den Kommunikationsinhalten von automatisierten Fahrzeugen zeigen, dass zu Fuß Gehende die Information über den Automationsstatus benötigen, um ihre Erwartungen an die Rolle der Fahrzeuginsassen und die Fähigkeiten der Automation anzupassen (Faas, Mathis & Baumann, 2020). Demgegenüber wird die Information über die Wahrnehmung der Fahrumgebung als unnötig bzw. ablenkend beschrieben (Ackermann, Beggiato, Schubert & Krems, 2019; Faas, Mathis & Baumann, 2020; Löcken et al., 2019) und als weniger relevant im Vergleich zur Information über nächste Fahrmanöver des automatisierten Systems (Mahadevan et al., 2018). Demgegenüber zeigt eine weitere empirische Studie eine Präferenz von zu Fuß Gehenden für die Information über die Wahrnehmung der Fahrumgebung auf (Loew et al., 2022). Die Information

---

über die Kooperationsfähigkeit wirkt sich in mehreren Studien positiv auf die Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und automatisiertem Fahrzeug aus (Forke et al., 2021; Singer et al., 2022; Wilbrink et al., 2021), weil sie die Eindeutigkeit der Interaktion und den Komfort der Situation für zu Fuß Gehende erhöht (Ackermann, Beggiato, Schubert & Krems, 2019) und zu effizienten Interaktionen (Wilbrink et al., 2021) sowie zu einem gesteigerten Sicherheitsgefühl von zu Fuß Gehenden führt (Habibovic et al., 2018). Die genannten positiven Effekte wurden auch für die Kombination von Kommunikationsinhalten in einer empirischen Studie gezeigt (Faas, Mathis & Baumann, 2020).

### **Design der MMS**

Für das Design der Kommunikationsschnittstelle zwischen automatisiertem Pkw und anderen Verkehrsteilnehmenden steht die eMMS und die dMMS zur Verfügung. Während die dMMS implizite Informationen über Parameter der Fahrzeugbewegung, bspw. durch die laterale Positionierung im Fahrstreifen (Sripada et al., 2021), Verzögern (Ackermann, Beggiato, Bluhm et al., 2019) und Beschleunigen (Miller et al., 2022) sowie daraus resultierendes Nicken des Pkw (Dietrich et al., 2020) an außenstehende Verkehrsteilnehmende übermittelt, ist die explizite Informationsübermittlung über neue, nicht standardisierte eMMS-Gestaltungslösungen (d. h. nicht konventionelle eMMS) bisher Teil fortlaufender Forschungen und Entwicklungen (Carmona et al., 2021; Dey, Habibovic, Löcken et al., 2020; Rouchitsas & Alm, 2019; Winter & Dodou, 2022).

Ein Abbild des Stands der Forschung und Entwicklung bietet die Taxonomie von Dimensionen des Designs der eMMS von Dey, Habibovic, Löcken et al. (2020), die in tabellarischer Form in Anhang B dieser Arbeit enthalten ist. Die wesentlichen Gestaltungsdimensionen von eMMS (Joisten, Freund & Abendroth, 2020) sind die Modalität der Informationsübertragung (Colley et al., 2019; Y. Liu et al., 2020), die Codierung des Inhalts (bspw. Text vs. visuell abstraktes Licht; Clercq et al., 2019; Y. M. Lee et al., 2019; Löcken et al., 2019), die Positionierung von Informationen (Ackermann, Beggiato, Schubert & Krems, 2019; Eisma et al., 2020; Q. Liu et al.), die Farbe visueller Informationen (Bazilinskyy et al., 2019; Reschke et al., 2019; Werner, 2018), der Zeitpunkt der Präsentation der Informationen (Bazilinskyy, Kooijman et al., 2021; Dey, Holländer et al., 2020; Rettenmaier & Bengler, 2021) sowie die Anzahl der Anzeigen (Dey, Habibovic, Löcken et al., 2020) und die Perspektive der Kommunikation (ego- oder allozentrisch; Bazilinskyy et al., 2019). Während sich Informationen aus der egozentrischen Perspektive direkt auf die zu Fuß gehende Person beziehen (bspw. „Geh“), nimmt die allozentrische Perspektive den Standpunkt des automatisierten Pkw ein (bspw. „ich bremsen“; Bazilinskyy et al., 2019).

## Fazit zu Kapitel 2.2: Automatisierung des Pkw

Mit der Automatisierung der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe werden die Aufgaben und Rollen zwischen Mensch und Pkw neu verteilt. Beim hochautomatisierten Fahren kann sich der Mensch von der Fahrzeugführungsaufgabe abwenden, die nun von dem hochautomatisierten System ausgeführt wird. Dies schließt nicht nur die Teilaufgaben der dynamischen Fahrzeugführung ein, die die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion im Innenraum des Pkw betreffen, sondern auch die Aufgaben bei der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden.

Damit Menschen auch mit hochautomatisierten Pkw sicher interagieren und dabei ein korrektes Verständnis über das System und ein kalibriertes Vertrauen in das System aufbauen können, sollte ein hochautomatisierter Pkw transparent nach Außen sein. Diese Transparenz eines hochautomatisierten Pkw wird über MMS hergestellt. Bei der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und automatisierten Pkw sind die dMMS und die eMMS automatisierter Fahrzeuge das Mittel zur Übertragung von Informationen des Typs der „Maschine zu Mensch“-Transparenz.

Die Methode der Kommunikation eines hochautomatisierten Pkws beinhaltet implizite Signale über die dMMS und explizite Inhalte über die eMMS und ersetzt damit die menschliche Kommunikation von Fahrenden. Während einige Informationen durch die eMMS inhaltsgleich ersetzt werden (bspw. der Blickkontakt über die Kommunikation der Wahrnehmung der Fahrumgebung), sind andere Informationen neu (bspw. die Kommunikation über den Automationsstatus) oder werden durch den Einsatz von eMMS verstärkt (bspw. die fortdauernde Kommunikation über die Wahrnehmung der Fahrumgebung als Verstärkung des Blickkontakts mit Pkw-Fahrenden).

Der Stand der Forschung bildet kein eindeutiges Ergebnis in Bezug auf die einzusetzenden Mittel der Kommunikation von automatisierten Fahrzeugen ab, insbesondere hinsichtlich des Ausmaßes an Automationstransparenz, das ein automatisiertes Fahrzeug an andere Verkehrsteilnehmende übertragen sollte (siehe auch Winter & Dodou, 2022, und die Diskussion dort).

## 2.3 Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und Pkw-Fahrenden

Die technologische Entwicklung der Pkw-Automatisierung wirkt sich auf das Verhalten von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit Pkw aus. Im Sinne einer menschenzentrierten Gestaltung (Deutsches Institut für Normung e.V., 2020b) sollten auf die Erkenntnisse zum Verhalten von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit Fahrenden von konventionellen Pkw zurückgegriffen werden, um eine Referenz zur Untersuchung und Erklärung von Verhaltensanpassungen des Menschen bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw zu schaffen. Hierzu wird im ersten Teil des Kapitels das Verhalten von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr klassifiziert, mit dem Ziel, den Untersuchungsgegenstand einzugrenzen.

### 2.3.1 Klassifikation des Verhaltens des Zufußgehens im Straßenverkehr

Das Verhalten zu Fuß Gehender im Straßenverkehr wird nach dem hierarchischen Ansatz von Michon (1985) klassifiziert (vgl. Kapitel 2.2.1 zur Beschreibung der Fahrzeugführungsaufgabe), der auf die strategischen, taktischen und operativen Ebenen des Verhaltens von Menschen beim Zufußgehen im Straßenverkehr übertragen wird (Hoogendoorn, 2001; Hoogendoorn & Bovy, 2004). Die Klassifikation mit den enthaltenen Ebenen und deren wechselseitigen Beziehungen ist in Abbildung 2-3 dargelegt. Die

Ebenen beeinflussen sich wechselseitig, d. h. Entscheidungen auf einer Ebene haben Auswirkungen auf die höher oder niedriger gestellte(n) Ebene(n) des Verhaltens.

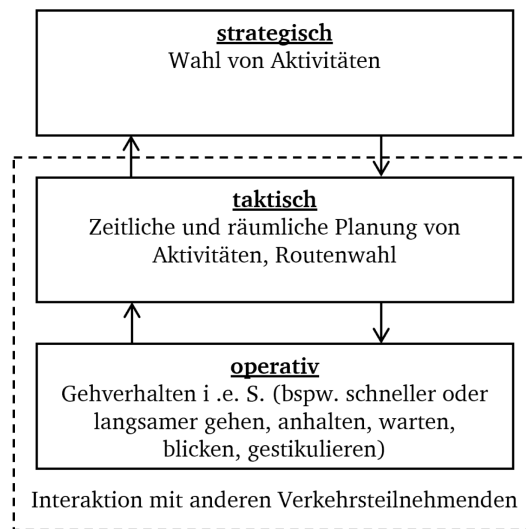


Abbildung 2-3: Klassifikation des Verhaltens von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr (angelehnt an Daamen, 2004)

Auf *strategischer Ebene* werden mittel- und langfristige Entscheidungen bezüglich der Aktivitäten und Destinationen getroffen, die über die Mobilitätsform des Zufußgehens im Straßenverkehr zurückgelegt bzw. erreicht werden (Hoogendoorn & Bovy, 2004).

Auf *taktischer Ebene* werden kurzfristige Entscheidungen hinsichtlich der zeitlichen und räumlichen Planung der Aktivitäten beim zu Fuß Gehen und der Routenwahl zur Erfüllung der Ziele auf strategischer Ebene getroffen. Empirische Arbeiten auf diesem Gebiet unterscheiden diesbezüglich fünf Verhaltenskategorien von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr (siehe Joisten, Bier & Abendroth, 2022), namentlich Verstöße, Fehler, Versehen, aggressives Verhalten und positives Verhalten gegenüber anderen Verkehrsteilnehmenden (Deb, Strawderman, DuBien et al., 2017; Granié et al., 2013; Joisten, Bier & Abendroth, 2022; Vandroux et al., 2022). Die taktische Ebene inkludiert Aktivitäten, die der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden zuzuordnen sind.

Die *operative Ebene* bildet das Verhalten von zu Fuß Gehenden bei unmittelbaren Entscheidungen ab, bspw. schneller oder langsamer zu gehen, anzuhalten, zu warten (Ishaque & Noland, 2008), zu blicken und zu gestikulieren bei der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden (Stanciu et al., 2018). Das operative Verhalten von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr befasst sich mit dem Gehverhalten i. e. S. und damit insbesondere mit Verhalten, das bei der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden von zu Fuß Gehenden beobachtbar ist.

Während das Verhalten von zu Fuß Gehenden auf jeder Verhaltensebene ein Bestandteil von spezifischen Forschungen ist (vgl. Pettigrew et al., 2022, für die strategische Ebene), ist die Eingrenzung des Untersuchungsgegenstands notwendig, um das in dieser Arbeit untersuchte Verhalten von anderen Ebenen des Verhaltens abzugrenzen.

## Eingrenzung des Untersuchungsgegenstands

Die Eingrenzung in dieser Arbeit erfolgt auf die *taktische Ebene* des Verhaltens von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr mit dem Fokus auf die *Interaktion mit hochautomatisierten Pkw*.

Als Untersuchungsgegenstand wird das Interagieren von zu Fuß Gehenden mit Pkw im Straßenverkehr als Tätigkeit aufgefasst und damit als eine aktive, zielgerichtete Form des Verhaltens charakterisiert, das einer Handlungsregulation obliegt und in einen sozialen Bezugsrahmen gestellt wird (vgl. Hacker & Sachse, 2014). Die Interaktion von zu Fuß Gehenden mit Pkw-Fahrenden im Straßenverkehr beinhaltet sowohl energetische Anteile, bspw. die Umsetzung von Energie bei Bewegungen des menschlichen Körpers (Weidmann, 1992), als auch informatorische Anteile, bspw. bei der Wahrnehmung von Informationen und deren Umsetzung in Entscheidungen (Cambon de Lavalette et al., 2009). Aufgrund dieser Koordination von Motorik und Sensorik des Menschen sowie der Umsetzung von wahrgenommenen Informationen in Reaktionen, enthält die Tätigkeit beim Zufußgehen im Straßenverkehr sowohl sensumotorische Inhalte (Stafford et al., 2022) als auch reaktive Inhalte (Fugger et al., 2000) und ist damit im Grenzbereich von vorwiegend körperlichen und vorwiegend informatorischen Tätigkeiten einzuordnen (vgl. Rohmert, 1983). Die sensumotorischen bzw. reaktiven Tätigkeiten von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden werden im Folgenden anhand der Phasen der Informationsverarbeitung erörtert.

### 2.3.2 Informationsverarbeitung zu Fuß Gehender bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden

Dem Paradigma des Informationsumsatzes folgend lassen sich die drei Phasen der Informationsaufnahme, -verarbeitung i. e. S. und -abgabe unterscheiden (Schlick et al., 2018). Diese Phasen gliedern den Informationsverarbeitungsprozess zu Fuß Gehender bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden.

#### Informationsaufnahme

In den frühen Prozessen des Informationsumsatzes, der sogenannten Informationsaufnahme, werden informationstragende Signale entdeckt und gegenüber einem „Hintergrundrauschen“ abgegrenzt (Schlick et al., 2018). Die informationstragenden Signale für zu Fuß Gehende bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden sind in der statischen Umgebung, bspw. der baulichen Infrastruktur, den anderen Verkehrsteilnehmenden als solche, bspw. deren Typ und Zustand, sowie der dynamischen Situation, insbesondere der Distanz und Bewegung der anderen Verkehrsteilnehmenden, enthalten (Ezzati Amini et al., 2019; Rasouli & Tsotsos, 2020). Für die Entdeckung dieser Signale sind die visuelle und auditive Sinnesmodalität der zu Fuß gehenden Person ausschlaggebend (Kerber, 2008; Winter et al., 2021). Der visuellen Sinnesmodalität wird beim Zufußgehen im Straßenverkehr eine höhere Bedeutung für die

---

Entdeckung von informationstragenden Signalen im Vergleich zur auditiven Sinnesmodalität zugeschrieben (Soares et al., 2020, 2021). Für zu Fuß Gehende wichtige fahrzeugbezogene visuelle Informationsträger bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden sind die räumliche und zeitliche Distanz zum Fahrzeug sowie die Bewegung des Fahrzeugs (Ackermann, Beggiato, Bluhm et al., 2019; Himanen & Kulmala, 1988; S. Schmidt & Färber, 2009) und non-verbale Handlungen von Pkw-Fahrenden, wie bspw. Handgesten und das Blickverhalten der Fahrenden (Stanciu et al., 2018; Sucha et al., 2017).

Forschung zum Blickverhalten von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr zeigt, dass die Fahrbahn, Straßenränder, andere Personen sowie Fahrzeuge von zu Fuß Gehenden fixiert werden (Fotios et al., 2015; Simpson et al., 2019). Das für die Informationsaufnahme relevante Blickverhalten von zu Fuß Gehenden ist aufgabenbezogen und zielgerichtet, d. h. unterschiedliche Signale werden in Abhängigkeit des Ablaufs einer Interaktion mit Pkw-Fahrenden von zu Fuß Gehenden fixiert, wobei für die Interaktion mit Pkw-Fahrenden irrelevante Signale selten fixiert werden (Winter et al., 2021). Die Studie von Dey, Walker et al. (2019) zeigt, dass zu Fuß Gehende bei der Interaktion mit einem bremsenden Pkw-Fahrenden zu einem Muster im Blickverhalten neigen: Ihr Blick wandert von dem Fahrstreifen vor dem Fahrzeug in großer Distanz (ca. 60 bis 30 m), über den Motorgrill und die Motorhaube (ca. 30 bis 10 m), zur Windschutzscheibe in naher Distanz zum Fahrzeug (ab ca. 15 m). Die Autoren vermuten hinter diesem Muster der Blickbewegung ein Bedürfnis von zu Fuß Gehenden in naher Distanz zum Fahrzeug den Blickkontakt zur fahrenden Person zu suchen oder andere aufgabenrelevante Informationen zu extrahieren, bspw. aus dem Gesichtsausdruck des Fahrenden.

### **Informationsverarbeitung i. e. S.**

Nachdem die informationstragenden Signale in den frühen Prozessen der Informationsverarbeitung entdeckt wurden, beinhalten die zentralen Prozesse der Informationsverarbeitung i. e. S. die Erkennung und Identifizierung der Signalbedeutung sowie den darauf aufbauenden Entscheidungsprozess zur Urteilsbildung und Folgenabschätzung (Schlick et al., 2018). Bei der Interaktion von zu Fuß Gehenden mit Pkw-Fahrenden ist dieser Entscheidungsprozess oftmals gleichgesetzt mit der Entscheidung vor oder hinter dem Fahrzeug zu queren (S. Schmidt & Färber, 2009), bzw. der Lückenakzeptanz, d. h. der Entscheidung eine Lücke zwischen Fahrzeugen zum Queren einer Straße zu akzeptieren oder nicht zu akzeptieren (Tian et al., 2022).

### *Lückenakzeptanz als Entscheidungsheuristik von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden*

Die Theorie der Lückenakzeptanz wird bei der Analyse von Entscheidungen von zu Fuß Gehenden, eine Straße zu queren oder nicht zu queren, verwendet (Theofilatos et al., 2021), wobei die Zeit, die einer zu Fuß gehenden Person zur Querung vor einem Pkw zur Verfügung steht, üblicherweise die Grundlage für die Lückenakzeptanz zu Fuß Gehender bildet (Petzoldt, 2014). Es wird postuliert, dass jede Person eine kritische, akzeptable Lückenschwelle hat, die für die Entscheidung, die Straße vor einem Fahrzeug

---

zu queren oder nicht zu queren, herangezogen wird (Theofilatos et al., 2021). Dabei beschreibt der Kennwert *Time-to-Arrival* (TTA) die verbleibende Zeit (in s) zwischen der zu Fuß gehenden Person und dem sich nähernden Pkw, die der Pkw bei der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit benötigt, um den Standort der Person zu erreichen (Feldstein & Dyszak, 2020). Die kritische, gerade noch akzeptable Lückenschwelle von zu Fuß Gehenden vor einem Fahrzeug zu queren, wird als *minimale TTA* bezeichnet (vgl. Das et al., 2005). Entsprechend beschreibt die *minimale Lücke* (in m) zwischen zu Fuß gehender Person und Pkw den räumlichen Abstand zwischen Person und Fahrzeug bei Wahl der minimalen TTA.

In Abhängigkeit des Verkehrsszenarios berichten empirische Untersuchungen zur Lückenakzeptanz von zu Fuß Gehenden bei der Querung von Straßen unterschiedliche Kennwerte. Für die Querung einer Straße durch zu Fuß Gehende außerhalb von Kreuzungen und Einmündungen zeigt die Meta-Analyse von Theofilatos et al. (2021), dass bei einem Anstieg der verfügbaren zeitlichen Lücken zwischen Fahrzeugen um eine Einheit, die Entscheidung zur Querung der Straße von zu Fuß Gehenden 7,22 Mal wahrscheinlicher wird. Für eine zweistreifige Fahrbahn und die Fahrzeuggeschwindigkeiten von 35, 45 und 60 km/h zeigen S. Schmidt und Färber (2009), dass keine zu Fuß gehende Person eine minimale TTA unter 3 s akzeptiert, während alle Personen bei einer TTA von größer als 7 s die Straße queren. Brewer et al. (2006) berichten eine TTA zwischen 5,1 s bis 6,2 s im Median für das Untersuchungsszenario einer vierstreifigen Fahrbahn mit einer Querungshilfe zwischen den Fahrtrichtungen. Im Untersuchungsszenario eines Fahrstreifens auf einem Parkplatz und für die Fahrzeuggeschwindigkeiten von 20 km/h bzw. 40 km/h zeigen Beggiato et al. (2018), dass zu Fuß Gehende eine minimale TTA von 2,5 s bis 5 s bzw. 2 s bis 3 s im Median akzeptieren.

Ein sich wiederholender Befund empirischer Forschungen ist, dass zu Fuß gehende Personen die TTA bei hohen Geschwindigkeiten eines Fahrzeugs unterschätzen, d. h. zu Fuß Gehende neigen dazu kleinere TTA-Werte bei hohen Fahrzeug-Geschwindigkeiten zu akzeptieren (Lobjois & Cavallo, 2007; Oxley et al., 2005; S. Schmidt & Färber, 2009). Bei gleicher TTA eines Fahrzeugs neigen zu Fuß Gehende dazu, einen größeren räumlichen Abstand zu Fahrzeugen mit höherer Geschwindigkeit im Vergleich zu Fahrzeugen mit niedrigeren Geschwindigkeiten wahrzunehmen (Tian et al., 2022) und diesen Abstand dahingehend zu beurteilen, dass genügend Zeit zur Querung vor dem Fahrzeug bleibt. Dieser Befund legt nahe, dass zu Fuß Gehende ihren Entscheidungsprozess bei der Interaktion mit Fahrzeugen stärker auf die räumliche Entfernung als auf die TTA bzw. Geschwindigkeit des Fahrzeugs stützen (Oxley et al., 2005; Zito et al., 2015).

## Einflussgrößen auf die Entscheidung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden

Lückenakzeptanz und TTA sind (beobachtbare) Kennwerte des Entscheidungsprozesses von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden. In einem strukturierten Literaturüberblick identifizieren Rasouli und Tsotsos (2020) insgesamt 38 Einflussgrößen auf den Entscheidungsprozess von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden und gruppieren diese in 21 umweltbezogene und 17 personenbezogene Einflussgrößen ein (siehe Abbildung 2-4).

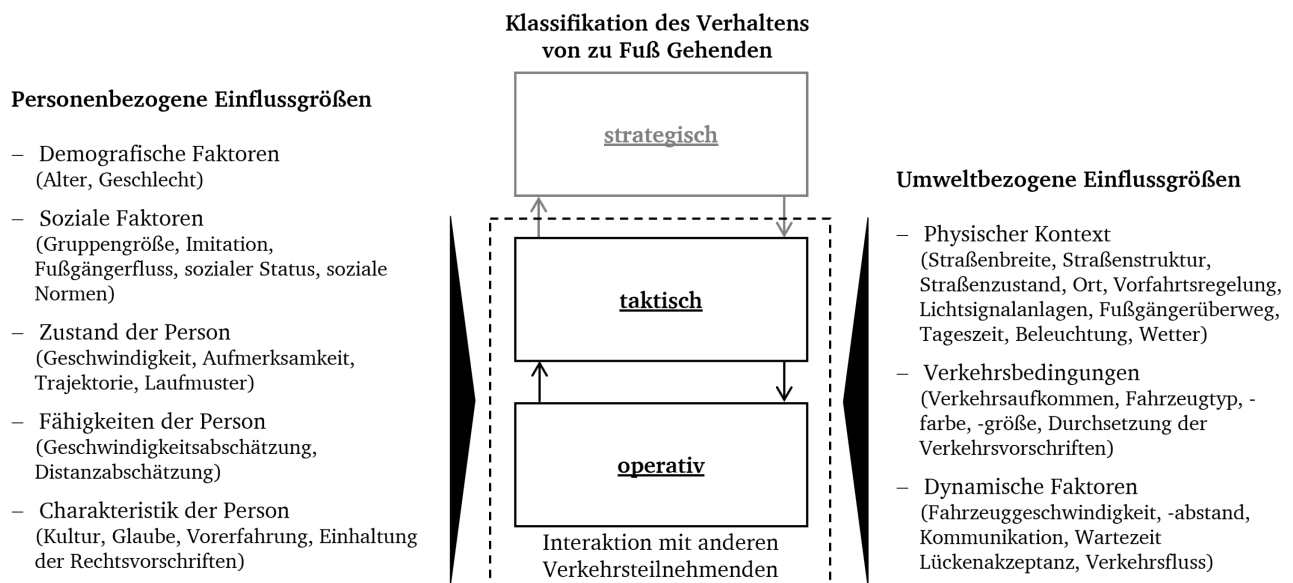


Abbildung 2-4: Personenbezogene und umweltbezogene Einflussgrößen auf die Interaktion von zu Fuß Gehenden mit anderen Verkehrsteilnehmenden angelehnt an Rasouli und Tsotsos (2020)

*Umweltbezogene Einflussgrößen* auf die Entscheidungsfindung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden sind (1) dem physischen Kontext, (2) den Verkehrsbedingungen und (3) dynamischen Faktoren zugeordnet (Rasouli & Tsotsos, 2020). Während der physische Kontext Einflussgrößen beinhaltet, die vorwiegend die zugrundeliegende Verkehrsszenarie beschreiben (bspw. die Fahrbahnbreite, Wetterbedingungen, Tageszeit, usw.), beschreiben die Verkehrsbedingungen und dynamischen Faktoren die situative Charakteristik der Interaktion. Wichtige Einflussfaktoren der Verkehrsbedingungen sind Typ, Größe und Farbe des Fahrzeugs (Dey, Martens et al., 2019). Zu den wichtigsten dynamischen Faktoren zählen die Fahrzeug-Geschwindigkeit, der Fahrzeug-Abstand sowie die eingesetzten Kommunikationsmittel der beteiligten Verkehrsteilnehmenden (Sucha et al., 2017).

*Personenbezogene Einflussgrößen* auf die Entscheidungsfindung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden sind untergliedert in (1) demografische Faktoren, (2) soziale Faktoren, (3) den Zustand der Person, (4) die Fähigkeiten der Person und (5) die Charakteristik der Person (Rasouli & Tsotsos, 2020). Die einzelnen Einflussgrößen können Abbildung 2-4 entnommen werden. Die meist erforschten demografischen Faktoren sind das Geschlecht und das Alter der zu Fuß gehenden Person (Ezzati Amini et al., 2019).



---

## Informationsabgabe

Die späten Prozesse der Informationsverarbeitung führen hin zum manipulativen und kommunikativen Handeln einer Person und beinhalten auch die Steuerung der Bewegung (Schlick et al., 2018). Bei der Interaktion von zu Fuß Gehenden mit Pkw-Fahrenden wird das kommunikative Handeln von sowohl zu Fuß gehender Person als auch Pkw-fahrender Person über den Kanal der non-verbalen Kommunikation übertragen (Färber, 2016; Y. M. Lee et al., 2021; Merten, 1977b; Sucha et al., 2017). Die non-verbalen kommunikativen Handlungen von zu Fuß Gehenden als auch Pkw-Fahrenden werden in explizite und implizite Methoden der Kommunikation klassifiziert (Ceunynck et al., 2013; Dey & Terken, 2017; Ezzati Amini et al., 2019; Markkula et al., 2020).

*Implizite Methoden der Kommunikation* sind kommunikative Handlungen, bei denen eine Handlung als solche ausgeführt wird, wobei die beobachtende Person selbst auf den Zustand oder die Absicht der handelnden Person rückschließen kann bzw. muss (Dey & Terken, 2017; A. Schmidt, 2000). Bezogen auf das Verhalten von Verkehrsteilnehmenden definieren Markkula et al. (2020, S. 741) implizite Methoden der Kommunikation als „A road user behaviour which affects own movement or perception, but which can at the same time be interpreted as signalling something to or requesting something from another road user“. Zu den wichtigsten impliziten Methoden der Kommunikation bei der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und Pkw-Fahrenden gehören die Fahrzeugbewegung, wie bspw. Bremsen, Stoppen, Fahren (Ackermann, Beggiato, Bluhm et al., 2019; Imbsweiler, Ruesch et al., 2018), sowie Blicke von Pkw-Fahrenden (Mok et al., 2022; Onkhar et al., 2022) und zu Fuß Gehenden (Guéguen et al., 2015) sowie deren Kopfbewegungen (Zito et al., 2015) und des Weiteren die Bewegung, Positionierung und Rotation des Körpers der zu Fuß gehenden Person (Kooijman et al., 2019).

Demgegenüber beinhalten *explizite Methoden der Kommunikation* zwischen Verkehrsteilnehmenden solche kommunikativen Handlungen, bei denen die handelnde Person eine Intention an die beobachtende Person übermittelt (Dey & Terken, 2017) und dabei meist sichtbar und mehr oder weniger deutlich zu verstehende Signale verwendet (Imbsweiler, Ruesch et al., 2018). Wichtige explizite Kommunikationsmethoden von Pkw-Fahrenden sind Handgesten oder die Betätigung von Hupe und Lichthupe (Imbsweiler, Stoll et al., 2018). Explizite Kommunikationsmethoden von zu Fuß Gehenden sind vor allem Handgesten bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden (Crowley-Koch et al., 2011; Zhuang & Wu, 2014).

Empirische Beobachtungsstudien zu den eingesetzten Methoden der Kommunikation bei der Interaktion von zu Fuß Gehenden und Pkw-Fahrenden deuten darauf hin, dass der Einsatz von impliziten Formen der Kommunikation überwiegen (Ackermann, Beggiato, Schubert & Krems, 2019; Y. M. Lee et al., 2021). Dennoch äußern zu Fuß Gehende in Befragungen den Wunsch nach expliziten Signalen von Pkw-Fahrenden, um die Eindeutigkeit von Wahrnehmung und Intention zu erhöhen (Joisten, Freund & Abendroth, 2020).

---

### 2.3.3 Interaktionsprozess zwischen zu Fuß Gehenden und Pkw-Fahrenden

Zur Beschreibung des Verhaltens von zu Fuß Gehenden und Pkw-Fahrenden entwickeln Ezzati Amini et al. (2019) ein Framework, das fünf Phasen der Interaktion unterscheidet (siehe Abbildung 2-5). In der *ersten Phase* der Interaktion, in der zu Fuß Gehende und Pkw-Fahrende nicht direkt miteinander interagieren, beobachten beide Agenten die potentielle Konfliktzone (vgl. Risser, 1985). Während zu Fuß Gehende in dieser Phase die Stelle zur Querung der Konfliktzone auswählen, passen sich Pkw-Fahrende an die Anforderungen an, die aus den Straßenbedingungen resultieren. In der *zweiten Phase* zeigen zu Fuß Gehende ihre Intention zur Querung an, bspw. durch ihre Anwesenheit am oder einen Schritt zum Fahrbahnrand. Mit dem gegenseitigen Erkennen der interagierenden Agenten startet die eigentliche Interaktion. Es folgt die *dritte Phase* der Interaktion, in der die interagierenden Agenten die Situation und Umgebung bewerten, wobei diese Bewertung durch die Bildung von Schemata sowie den oben genannten Einflussgrößen auf die Entscheidungsfindung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden bedingt wird. Durch die Bildung von Schemata schließen Verkehrsteilnehmende von bestimmten Eigenschaften des anderen Verkehrsteilnehmenden auf dessen mutmaßliches Verhalten in der Interaktion (Merten, 1977b). Nach der Bewertung der Umgebung der Interaktion, wählen die interagierenden Agenten in der *vierten Phase* des Frameworks explizite und implizite Methoden der Kommunikation aus, wenn die eigene Intention kommuniziert werden soll. Anschließend wählen sowohl zu Fuß Gehende als auch Pkw-Fahrende in der *fünften Phase* des Interaktionsprozesses eine Strategie aus, die nachgebend (engl. yielding) oder nicht nachgebend (engl. non-yielding) ist.

Das Framework von Ezzati Amini et al. (2019) postuliert, dass auch ohne die Kommunikation der Intention der Verkehrsteilnehmenden eine Strategie gewählt werden kann. Zusätzlich können Strategien wechseln oder es kann mehr als eine Strategie gleichzeitig ausgeführt werden. Nach der fünften Phase des Interaktionsprozesses endet die Interaktion, wenn die finalen Strategien von den interagierenden Agenten ausgewählt wurden und einer der Agenten nachgibt bzw. den Vorrang abgibt.

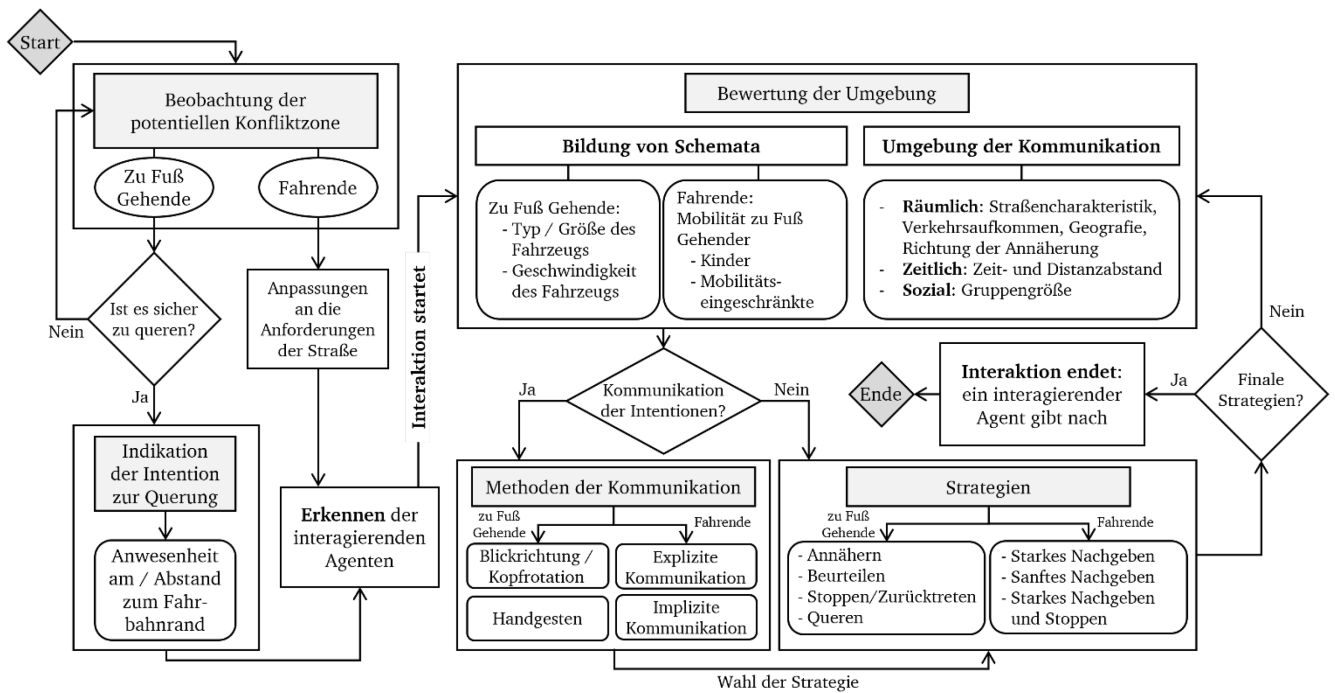


Abbildung 2-5: Vereinfachter Interaktionsprozess zwischen zu Fuß Gehenden und Pkw-Fahrenden für das Szenario der Straßenquerung (Ezzati Amini et al., 2019). Aus dem Englischen übersetzt durch den Autor

### Fazit zu Kapitel 2.3: Interaktion von zu Fuß Gehenden mit Pkw-Fahrenden

Bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden verarbeiten zu Fuß Gehende Informationen, die sie in einen situativen Kontext bewerten und in Form von kommunikativen Handlungen in der Situation umsetzen. Das Ergebnis wird in einem (vereinfachten) Interaktionsprozess abgebildet, in dem eine der interagierenden Parteien, zu Fuß gehende Person oder Pkw fahrende Person, nachgibt bzw. den Vorrang abgibt. Dabei gliedert sich der Interaktionsprozess zwischen zu Fuß gehender Person und Pkw-fahrender Person in fünf Phasen, die den frühen, zentralen und späten Prozessen der Informationsverarbeitung zugeordnet werden können.

## 2.4 Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und automatisierten Pkw

Die durch die Pkw-Automatisierung hervorgerufenen Veränderungen und Auswirkungen auf den Menschen in der Interaktion zwischen zu Fuß gehender Person und hochautomatisiertem Pkw werden in Kapitel 2.4.1 unter dem Aspekt des *Vertrauens in automatisierte Pkw* und in Kapitel 2.4.2 unter dem Aspekt des *mental Modells bezüglich automatisierter Pkw* adressiert. Anschließend wird der Stand der Forschung zur *Erfahrung* von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen als zentrale Einflussgröße der Verhaltensanpassung in Kapitel 2.4.3 dargelegt.

---

## 2.4.1 Vertrauen

Das Vertrauen determiniert die Nutzung und Interaktion mit automatisierten Systemen (Schaefer et al., 2016) und ist damit ein Prädiktor für die Akzeptanz der Technologie des automatisierten Fahrens von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr (Deb, Strawderman, Carruth et al., 2017; S. Zhou et al., 2022).

### **Definition des Vertrauensbegriffs**

In der wissenschaftlichen Literatur existieren eine Vielzahl von Definitionen des Vertrauensbegriffs (siehe Manchon et al., 2021 und Hancock et al., 2021 für eine Übersicht der Definitionen). Eine etablierte Definition im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion bezeichnet Vertrauen als „the attitude that an agent will help achieve an individual’s goal in a situation characterized by uncertainty and vulnerability“ (J. D. Lee & See, 2004, S. 54). Das Vertrauen steuert das Ausmaß des sich Verlassens (engl. reliance) einer Person in einen automatisierten Agenten, wenn das Ergebnis der Interaktion mit diesem Agenten einen mit Unsicherheit verknüpften Ausgang hat und mit Nachteilen für die Person verknüpft sein kann. Damit ist Vertrauen eine grundlegende Voraussetzung für die Nutzung von bzw. Interaktion mit automatisierten Systemen (Muir, 1994; Parasuraman & Riley, 1997).

Im Kontext dieser Arbeit basiert das Vertrauen von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw im engeren Sinne auf einer Einstellung einer Person, dass die Funktionen des automatisierten Systems in einer Art und Weise ausgeführt werden, sodass sich die Person auf diese verlassen kann, um das Ziel einer sicheren, effizienten und komfortablen Interaktion mit dem hochautomatisierten Pkw zu erreichen (vgl. S. Zhou et al., 2022). Dabei besteht jedoch eine Unsicherheit, inwieweit das System tatsächlich in der angenommenen Art und Weise funktioniert, sodass die zu Fuß gehende Person ein Risiko bei der Interaktion eingeht und sich verletzlich macht.

### **Ebenen des Vertrauens**

Der Vertrauensbegriff wird in die vier Ebenen des *dispositiven*, *situativen*, *initial erlernten* und *dynamisch erlernten* Vertrauens unterschieden (Hoff & Bashir, 2015; Marsh & Dibben, 2003). Auf diesen Ebenen wird das Vertrauen in das automatisierte System durch menschenbezogene, automationsbezogene und umweltbezogene (Hancock et al., 2011; Hancock et al., 2021; Schaefer et al., 2016) sowie interaktionsbezogene Größen beeinflusst (Saßmannshausen et al., 2022). Die Ebenen des dispositiven, situativen und initial erlernten Vertrauens sind dem Zeitpunkt vor einer Interaktion mit einem automatisierten System zugeordnet und bilden die Grundlage für das initiale Vertrauen einer Person in das automatisierte System (Hoff & Bashir, 2015). Das dispositive Vertrauen bezieht sich auf eine individuelle, situationsunabhängige Tendenz einem automatisierten System zu vertrauen, die durch Kultur, Alter, Geschlecht und Persönlichkeitseigenschaften beeinflusst wird. Das situative Vertrauen gliedert sich in mensch- und umweltbezogene Einflussgrößen, wie die Aufmerksamkeit des Menschen und die Situation im Straßenverkehr, sowie automationsbezogene Einflussgrößen, die sich auf das

---

automatisierte System, dessen Art und Komplexität und die mit der Interaktion einhergehende Aufgabenschwierigkeit beziehen. Das initial erlernte Vertrauen setzt sich aus dem Wissen einer Person über das automatisierte System zusammen und formt die Erwartungen an die Interaktion, wobei die gesammelten Erfahrungen mit dem automatisierten System oder ähnlichen Technologien von hoher Relevanz sind, weil sie das Verständnis der Person über den Zweck und Prozess eines automatisierten Systems fördern.

Im Gegensatz zum dispositiven, situativen und initial erlernten Vertrauen entwickelt sich das dynamisch erlernte Vertrauen einer Person während der Interaktion mit dem automatisierten System und ist damit Teil einer dynamischen Wechselwirkung zwischen der Leistungsfähigkeit bzw. den Eigenschaften eines automatisierten Systems und dem Vertrauen der Person in das automatisierte System (Hoff & Bashir, 2015; J. D. Lee & See, 2004). Die Leistungsfähigkeit eines automatisierten Systems wird durch automationsbezogene Einflussgrößen determiniert, wie bspw. die Zuverlässigkeit, Vorhersagbarkeit, Fehlerrobustheit und Nützlichkeit, die wiederum durch Design-Merkmale des Systems Ausdruck finden. Diesbezüglich in der Literatur bisher untersuchte Design-Merkmale als Einflussgröße auf das dynamisch erlernte Vertrauen von zu Fuß Gehenden in automatisierte Fahrzeuge sind die Fahrzeuggestalt, der Grad des Anthropomorphismus der Interaktionskonzepte, die Modalität der Kommunikation sowie die Automationstransparenz (S. Zhou et al., 2022).

Für das Verständnis der Entwicklung des erlernten Vertrauens von Menschen in automatisierte Systeme hat sich der Begriff der Vertrauenskalibrierung herausgebildet.

### **Vertrauenskalibrierung**

Die Vertrauenskalibrierung beschreibt einen Zusammenhang zwischen Vertrauen und Leistungsfähigkeit bzw. Systemeigenschaften und -grenzen eines automatisierten Systems (J. D. Lee & See, 2004).

In Abbildung 2-6 wird der Mechanismus der Vertrauenskalibrierung dargestellt, die erreicht wird, wenn das Vertrauen der Person der Leistungsfähigkeit des automatisierten Systems gleicht. Eine Abweichung vom kalibrierten Vertrauen wird einerseits als Übervertrauen bezeichnet, das in einer Fehlnutzung bzw. fehlerhaften Interaktion mit dem automatisierten System resultiert, oder andererseits als Misstrauen, das eine Nichtnutzung bzw. vermeidende Interaktion mit dem automatisierten System zur Konsequenz hat (J. D. Lee & See, 2004). Der Grad der Auflösung beschreibt das Verhältnis der Bandbreite von Vertrauen mit der korrespondierenden (personenbezogenen wahrgenommenen) Bandbreite der Leistungsfähigkeit des automatisierten Systems. Bei einer schlechten (guten) Auflösung spiegeln sich große bzw. kleine Veränderungen der Leistungsfähigkeit des automatisierten Systems in kleinen bzw. großen (gleichermaßen großen) Veränderungen des Vertrauens wider.

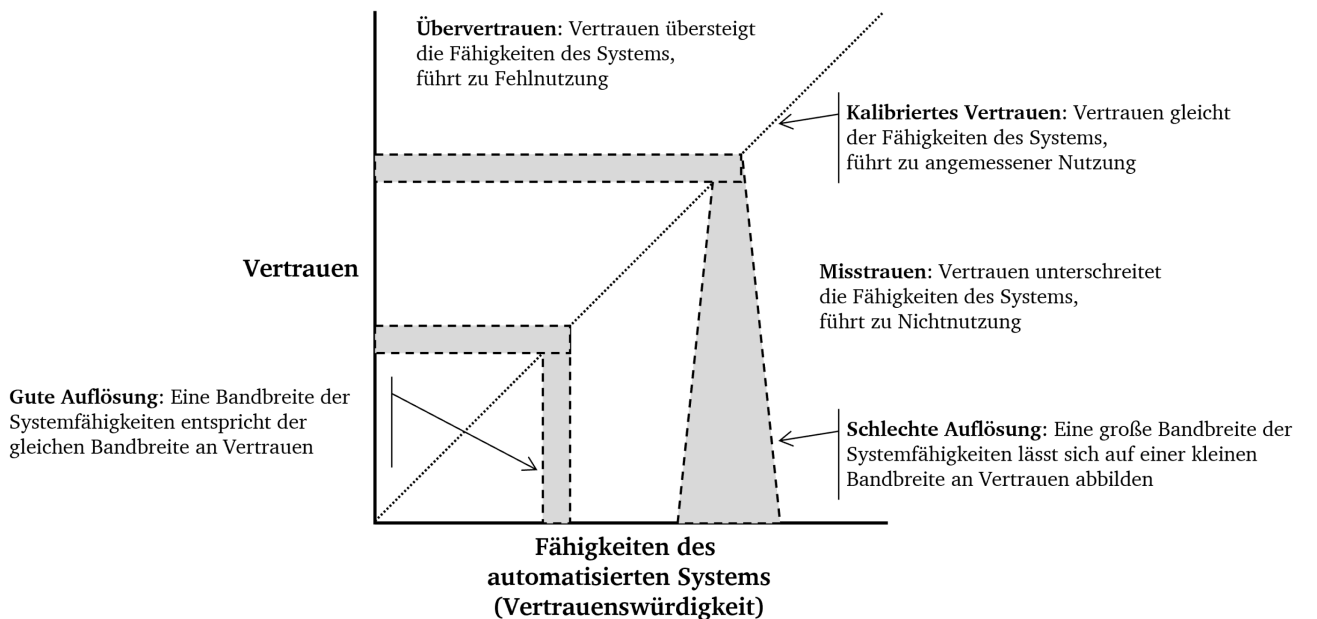


Abbildung 2-6: Zusammenhang von Vertrauen und Fähigkeiten eines automatisierten Systems (J. D. Lee & See, 2004); aus dem Englischen übersetzt durch den Autor

### (Quasi-)Experimentelle Studien zum Vertrauen von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw

Für die Interaktion von zu Fuß Gehenden und einem hochautomatisierten Pkw ohne eMMS zeigen Rothenbucher et al. (2016) in einem kontrollierten Feldtest mit  $N = 67$  Versuchspersonen, dass zu Fuß Gehende einerseits dem hochautomatisierten Pkw aufgrund der nicht vorhandenen fahrenden Person misstrauen, andererseits ein Vertrauen durch den Ausschluss von Fehlern einer fahrenden Person begründen. In einem online Experiment ( $N = 60$ ) kommen Razmi Rad et al. (2020) zum Ergebnis, dass zu Fuß Gehende, die ein höheres Vertrauen in hochautomatisierte Pkw angeben, schnellere Entscheidungen zur Querung einer Straße vor dem hochautomatisierten Pkw treffen und auch noch vor dem Stoppen des hochautomatisierten Pkw eine Querung der Straße initiieren. Die Studie ( $N = 30$ ) von Jayaraman et al. (2018) in der Versuchsumgebung der virtuellen Realität (VR) zeigt, dass zum einen ein aggressives Fahrverhalten des hochautomatisierten Fahrzeugs zu einer signifikanten Abnahme des Vertrauens von zu Fuß Gehenden führt und zum anderen das Vertrauen in einer Umgebung mit signalisierter Querungshilfe signifikant zunimmt. Die Ergebnisse des Experiments von Holländer et al. (2019) in einer VR-Versuchsumgebung ( $N = 18$ ) deuten darauf hin, dass das Vorhandensein einer eMMS das Vertrauen von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw signifikant positiv beeinflusst, im Vergleich zu einem hochautomatisierten Pkw ohne eMMS. Weitere empirische Studien zum Vertrauen von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw mit eMMS fassen S. Zhou et al. (2022) in einem strukturierten Literaturüberblick zusammen.

In Bezug auf Wissen um hoch- bzw. bedingt automatisierte Fahrzeuge zeigen das VR-Experiment ( $N = 55$ ) von Nuñez Velasco et al. (2019) und die Interviewstudie ( $N = 32$ ) von Reig et al. (2018), dass zu Fuß Gehende mit einem größeren Wissen zur Fahrzeug-Automatisierung ein höheres Vertrauen in diese

---

angeben. Gleichzeitig wird das Vertrauen von der Unternehmensmarke eines automatisierten Fahrzeugs beeinflusst (Reig et al., 2018).

Hinsichtlich der Vertrauenskalibrierung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw kommt die video-basierte Laborstudie (N = 67) von Faas et al. (2021) zum Ergebnis, dass eine eMMS mit der Information des Automationsstatus zu einem Übervertrauen führt und weitere Kommunikationsinhalte über die Intentionen des automatisierten Pkws notwendig sind, um ein kalibriertes Vertrauen zu erreichen. Die Studie von Kaleefathullah et al. (2022) in einer VR-Versuchsumgebung (N = 60) zeigt, dass das Auftreten von Automationsdefekten der eMMS zu einem Abfall des Vertrauens von zu Fuß Gehenden in den hochautomatisierten Pkw führt. Daraus schließen die Autoren der Studie, dass die Versuchspersonen ein Übervertrauen in die Informationen der eMMS zeigen und Kommunikationssignale über die dMMS des hochautomatisierten Pkws übersehen können.

## 2.4.2 Mentales Modell

Die Nutzung von automatisierten Systemen ist verbunden mit der mentalen Repräsentation, die der Mensch von den Fähigkeiten und Limitationen des Systems hat (Casner & Hutchins, 2019; Muslim & Itoh, 2021). Diesbezüglich sind Forschungen zum mentalen Modell in der Mensch-Maschine-Interaktion relevant (Wilson & Rutherford, 1989).

### Definition von mentalem und konzeptuellem Modell

*Mentale Modelle* sind definiert als individuelle, interne Repräsentationen der externen Realität, die eine Person dazu verwendet, um mit der Umgebung zu interagieren (Jones et al., 2011). Für eine bestimmte Situation schaffen mentale Modelle das Verständnis des Menschen darüber, was ein System beinhaltet, wie es funktioniert und warum es auf eine bestimmte Art und Weise funktioniert (Carroll & Olson, 1987). Sie bilden somit die Grundlage für die Informationsverarbeitung des Menschen, insbesondere auch um Konsequenzen des (System-)Verhaltens abzuschätzen und individuelle Entscheidungen zu treffen, die das menschliche Verhalten formen (Jones et al., 2011).

Mentale Modelle sind unvollständig, instabil und schwer voneinander abzugrenzen (Norman, 2014). Trotz der nicht vollständigen Abstraktion der Realität (Ososky et al., 2014), sind Menschen auf mentale Modelle für ihre Denkprozesse angewiesen, durch die sie erst ein kausales Verständnis von situationsabhängig erkannten Informationen und dem Verhalten der Objekte und Akteure in ihrer Umgebung bilden können (Carroll & Olson, 1987).

Norman (2014) unterscheidet von dem mentalen Modell das *konzeptuelle Modell* eines Systems. Im Gegensatz zum mentalen Modell wird das konzeptuelle Modell nicht der interagierenden, sondern der Personen zugeordnet, die das System gestaltet bzw. entwickelt. In Abgrenzung zum mentalen Modell, zielt das konzeptuelle Modell auf eine akkurate Repräsentation des Systems ab, d. h. es ist genau, vollständig und konsistent. Das konzeptuelle Modell der Person, die das System gestaltet oder

---

entwickelt, und das mentale Modell der mit dem System interagierenden Personen sollte möglichst übereinstimmen, um Fehler bei der Interaktion mit dem System zu vermeiden.

### **Bildung von mentalen Modellen**

Mentale Modelle werden von Personen gebildet und sind dementsprechend von Lebenserfahrungen, individuellen Wahrnehmungen und deren grundlegendem Verständnis der Welt geprägt (Jones et al., 2011). Aufgrund ihres dynamischen Charakters verändern sich mentale Modelle durch Erfahrungen bei der Interaktion mit Systemen und durch bei Beobachtung des Systems entstandenem Wissen (Norman, 2014; Wilson & Rutherford, 1989).

Bei der Interaktion mit neuen Systemkomponenten, wobei der Mensch neue Sachverhalte situativ zuordnen muss, basieren die gebildeten mentalen Modelle auf Analogien, bei denen das gespeicherte Verständnis über Kausalbeziehungen der Systemelemente auf den neuen Gegenstandsbereich bzw. die neue Situation übertragen werden (Gentner & Gentner, 2014). Dieser Prozess geht einher mit gedanklichem Ausprobieren oder einer dynamischen Simulation von Ereignisfolgen (Schlick et al., 2018). Dabei wirkt sich eine unvollständige, inkonsistente oder fehlerbehaftete Analogiequelle auf die Güte des gebildeten mentalen Modells aus (Gentner & Gentner, 2014). Ein mentales Modell kann dementsprechend mehr oder weniger akkurat die Realität widerspiegeln.

### **(Quasi-)Experimentelle Studien zum mentalen Modell bezüglich automatisierter Pkw**

Forschungen zum Vertrauen in und zur Akzeptanz fahrender Personen von FAS in Pkw zeigen, dass ein akkurates mentales Modell der Nutzenden die Basis für ein kalibriertes Vertrauen in und die Akzeptanz von FAS sind (Beggiato & Krems, 2013; Kazi et al., 2007; Richardson et al., 2019). Das akkurate mentale Modell des FAS wird durch einen Lernprozess gebildet, der abhängig von der Instruktion zu den Fähigkeiten und Limitationen des FAS ist (Beggiato & Krems, 2013). Dahingehend zeigen Beggiato et al. (2015), dass die Entwicklung des mentalen Modells eines Adaptive Cruise Control (ACC) FAS bis zu fünf Interaktionen benötigt (an fünf verschiedenen Tagen; bzw. insgesamt 185 km Fahrtstrecke oder 3,5 Stunden Fahrtzeit), um einen stabilen Zustand zu erreichen. Die Untersuchung von Blömacher et al. (2020) zur Entwicklung des mentalen Modells von Fahrenden von bedingt automatisierten Fahrzeugen (SAE Level 3) ergänzt, dass in einem iterativen Prozess das mentale Modell des Menschen angepasst wird, wenn das automatisierte System in Situationen abweichend von den Erwartungen der fahrenden Person reagiert.

Eine empirische Studie untersuchte bisher das mentale Modell von zu Fuß Gehenden bezüglich der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw mit eMMS. Das Experiment von H. Liu et al. (2021) in einer kontrollierten Versuchsumgebung mit 32 Versuchspersonen zeigt, dass eine Instruktion in die Funktionsweise der eMMS das mentale Modell von zu Fuß Gehenden dahingehend entwickelt, dass sich das Sicherheitsgefühl während der Interaktion sowie das Vertrauen in den automatisierten Pkw



---

signifikant verbessern. Die Autoren schließen zudem, dass zu Fuß Gehende schneller Entscheidungen bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw mit eMMS treffen können, wenn sie ein akkurates Modell des automatisierten Systems (Pkw mit eMMS) aufbauen konnten. Dieser Befund wird von dem kontrollierten Feldtest (N = 173 beobachtete Interaktionen) von Hensch et al. (2020) unterstützt, der die Verständlichkeit von eMMS Signalen hochautomatisierter Fahrzeuge für nicht instruierte zu Fuß Gehende untersuchte. Die Autoren schließen aus den Studienergebnissen, dass Informationen über die Kommunikationsfähigkeiten eines hochautomatisierten Fahrzeugs mit eMMS die Entwicklung eines akkuraten mentalen Modells unterstützt.

### 2.4.3 Erfahrung

Erfahrung und der damit verbundene Lernprozess formen sowohl das Vertrauen von Menschen in automatisierte Fahrzeuge als auch das mentale Modell des Menschen von automatisierten Fahrzeugen (Stanton & Young, 1998). Für die Bildung und Erklärung von Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw wird der menschlichen Erfahrung deshalb ein erklärender Einfluss zugeschrieben (Dommes et al., 2021; Tabone et al., 2021).

#### **Definition von Erfahrung**

Erfahrung bezeichnet allgemein „das durch (meist wiederholtes) Wahrnehmen und Erleben gewonnene Wissen“ (Wirtz & Dorsch, 2017, S. 513) eines Menschen und wird auch als bestätigte Erkenntnis definiert, die durch Beobachtung und Reflektionen gewonnen wird (Kolb, 1984). Sie formt Erwartungen des Menschen bezüglich eines Vorgangs, indem der Mensch aus Erfahrungen Regeln ableitet und diese anwendet (Hacker & Sachse, 2014). Dabei ist das Konstrukt der Erfahrung eng mit dem Konstrukt des Lernens verbunden (Kolb, 1984).

#### **(Quasi-)Experimentelle Studien zur Erfahrung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw**

Empirische Studien zur Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw, die die Erfahrung des Menschen bei der Interaktion bzw. den begleitenden Lernprozess untersuchen, sind in Tabelle 2-4 zusammengefasst.

Tabelle 2-4: Empirische Befunde zu Erfahrungseffekten von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw

Quelle	Kontext	Methode	Zentrale Ergebnisse
<i>(Quasi-)Experimentelle Studien mit Messwiederholung</i>			
Bonneviot et al., 2021	Untersuchung von initialem und erlerntem Vertrauen (Fragebogen nach Jian et al., 2000) von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw mit eMMS (nächste Fahrmanöver; Kooperationsfähigkeit).	VR-Laborstudie (N = 49)	Das erlernte Vertrauen drei Wochen nach der Versuchsteilnahme (MW = 4,49 aus 7) verändert sich nicht statistisch signifikant im Vergleich zum initialen Vertrauen in hochautomatisierte Pkw (MW = 4,08 aus 7), das vor Versuchsbeginn erhoben wurde.
Faas, Kao & Baumann, 2020	Der Einfluss einer eMMS (Automationsstatus, Intention zum Nachgeben) auf die Entscheidung zur Querung (subjektive und objektive Variablen) von zu Fuß Gehenden vor hochautomatisierten Pkw wurde untersucht.	Video-basierte Laborstudie (N = 34)	Mit zunehmender Erfahrung (18 Interaktionen an drei Versuchstagen) treffen zu Fuß Gehende schneller Entscheidungen zur Querung. Gleichzeitig steigt ihr Vertrauen in hochautomatisierte Pkw an und ihre wahrgenommene Sicherheit bei der Interaktion nimmt zu. Die Effekte sind stärker für eMMS mit Kommunikation der Intention.
<i>(Quasi-)Experimentelle Studien ohne Messwiederholung</i>			
Clercq et al., 2019	Analyse des Einflusses von eMMS Gestaltungen (nächste Fahrmanöver; Kooperationsfähigkeit) von hochautomatisierten Fahrzeugen auf die Bereitschaft zur und das Sicherheitsgefühl bei der Querung von zu Fuß Gehenden.	VR-Laborstudie (N = 28)	Erfahrung (ca. 72 Interaktionen) mit hochautomatisierten Pkw mit eMMS erhöht die Dauer, in der sich zu Fuß Gehende sicher bei der Querung vor dem hochautomatisierten Fahrzeug fühlen. Eine eMMS mit Text ist eindeutiger, d. h. benötigte keinen signifikanten Lerneffekt, als anthropomorphe oder lichtbasierte eMMS.
Colley et al., 2022	Untersuchung der Auswirkung von eMMS-Konzepten (Kooperationsfähigkeit) auf das Verhalten von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit nachgebenden hochautomatisierten Pkw.	VR-Laborstudie (N = 18)	Eine steigende Anzahl an Interaktionen (9 Interaktionen) erhöht das Vertrauen von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw mit eMMS und verringert die benötigte Zeit zur Querung, was auf einen Gewöhnungseffekt hindeutet.
Hochman et al., 2020	Es wurde untersucht, wie zu Fuß Gehende eine nachgebende Intention von hochautomatisierten Pkw mit eMMS (nächste Fahrmanöver; Kooperationsfähigkeit) erkennen und was ihre Entscheidung zur Querung über die Zeit beeinflusst.	Video-basierte Laborstudie (N = 20)	Unabhängig vom Konzept der eMMS zeigt sich ein Lernprozess (96 Interaktionen); mit steigender Erfahrung kommt es zu schnelleren Reaktionszeiten (Erkennen der Absicht) und weniger Blicken auf die eMMS.
Y. M. Lee et al., 2022	Analyse des Einflusses einer eMMS Gestaltung (Lichtsignal; Kooperationsfähigkeit) von hoch-automatisierten Pkw auf die Entscheidung zur Querung von zu Fuß Gehenden, im Vergleich zu bekannten eMMS-Gestaltungen (d. h. der Lichthupe).	CAVE Simulator (N = 40)	Es werden mind. 12 Interaktionen mit dem eMMS-Lichtsignal („Ich gewähre Vorrang“) benötigt, bevor es sich auf die Entscheidung zur Querung auswirkt; die Entscheidung zur Querung wird mit zunehmender Erfahrung um 200 ms schneller getroffen (im Vergleich zu der Bedingung mit bekannter eMMS, d. h. der Lichthupe), die sofort zu schnelleren Entscheidungen führt.

Quelle	Kontext	Methode	Zentrale Ergebnisse
<i>Nicht-experimentelle Studien</i>			
Penmetsa et al. (2019)	Befragung in einem Testfeld für hochautomatisierte Fahrzeuge (Pittsburg, USA), ob Erfahrung in der Interaktion mit hochautomatisierten Fahrzeugen einen Einfluss auf die Bewertung und Erwartungen von zu Fuß Gehenden gegenüber der Technologie des hochautomatisierten Fahrens hat.	Fragebogen (N = 798)	Befragte mit direkter Erfahrung bei der Interaktion mit hochautomatisierten Fahrzeugen geben an, dass sie höhere Erwartungen an die Sicherheitsvorteile durch die Einführung des automatisierten Verkehrs haben. Zunehmende Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen kann die Einstellung zu dieser Technologie positiv beeinflussen.
Pyrialakou et al. (2020)	Befragung bezüglich des Sicherheitsempfindens von Verkehrsteilnehmenden, die mit hochautomatisierten Fahrzeugen in einem Testfeld für hochautomatisierte Fahrzeuge interagieren (Phoenix, Arizona, USA).	Fragebogen (N = 400)	Ein positiver Zusammenhang zwischen dem Sicherheitsempfinden beim Zufußgehen in der Nähe von hochautomatisierten Fahrzeugen und direkter Erfahrung bei der Interaktion mit diesen Fahrzeugen wird gefunden.

*Anmerkungen.* Die Studien sind nach dem Studiendesign in (quasi-)experimentelle Studien mit oder ohne Messwiederholung und nicht-experimentelle Studien in alphabetischer Reihenfolge aufgelistet. Es werden nur solche Studien (in Abgrenzung zu Kapitel 2.4.1 und Kapitel 2.4.2) aufgeführt, die einen Erfahrungseffekt explizit untersucht haben. Des Weiteren werden in dieser Tabelle keine empirischen Befunde zu Erfahrungseffekten bei Automationsfehlern und Studien zu anderen Fahrzeugtypen aufgelistet (bspw. Busse und Logistikfahrzeuge, wie in Monzel et al., 2021).

Zusammengefasst zeigt die Studienlage, dass Erfahrung von Menschen bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw mit eMMS sowohl subjektive als auch objektive Messgrößen beeinflusst. In Abhängigkeit der gewählten Versuchsumgebung und Methode steigt die Bereitschaft der Querung von zu Fuß Gehenden vor hochautomatisierten Pkw mit zunehmender Interaktionserfahrung an (Clercq et al., 2019; Colley et al., 2022; Hochman et al., 2020; Y. M. Lee et al., 2022); insbesondere werden die Entscheidungen zur Querung früher getroffen, wenn die eMMS eine nachgebende Intention des Fahrzeugs kommuniziert (Faas, Kao & Baumann, 2020). Des Weiteren zeigt der Stand der Forschung, dass die gemessenen Effekte abhängig von der Gestaltung der eMMS sind. Bei der Untersuchung von Erfahrungseffekten sollte zudem die Vertrautheit mit der Kommunikation über eMMS berücksichtigt werden (Y. M. Lee et al., 2022), bspw. über eine entsprechende Instruktion von Versuchspersonen (Hensch et al., 2020; H. Liu et al., 2021).

Hinsichtlich einer Quantifizierung der zur Erfahrung beitragenden Interaktionen, die zu den oben dargelegten Effekten führen, ist die Studienlage divers und nicht fundiert. Bisher wurden nur zwei quasi-experimentelle Studien mit Messwiederholung durchgeführt (Bonnevot et al., 2021; Faas, Kao & Baumann, 2020). In den quasi-experimentellen Studien ohne Messwiederholung interagieren die Versuchspersonen in 9 bis 96 Interaktionen mit hochautomatisierten Pkw und verschiedenen eMMS-Konzepten. Die Versuchsdauer dieser Studien beträgt max. 2,5 Stunden pro Versuchsperson an einem Versuchstag.

## Fazit zu Kapitel 2.4: Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und automatisierten Pkw

Während Auswirkungen der Interaktion von zu Fuß Gehenden mit hochautomatisierten Pkw auf das Vertrauen von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw nachgewiesen werden konnten, sind Auswirkungen auf das mentale Modell bisher wenig untersucht. Für das Verhalten von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw wird sowohl ein kalibriertes Vertrauen, als auch ein akkurates mentales Modell vorausgesetzt, um sichere und effiziente Interaktionen zu gewährleisten. Beiden Konstrukten liegt eine zeitliche Dimension zugrunde, die in der Erfahrung des Menschen mit dem automatisierten System einen Ausdruck findet.

## 2.5 Forschungslücken, Forschungsfragen und Arbeitsmodell

In Kapitel 2.5.1 werden die *Limitationen des aktuellen Forschungsstands und Forschungslücken* aufgezeigt, um die *Forschungsfragen* der Dissertation in Kapitel 2.5.2 herzuleiten. Die Beiträge der Dissertation zum Stand der Forschung werden in Kapitel 2.5.3 in einem deskriptiven *Arbeitsmodell* beschrieben. Zur Überleitung zum empirischen Teil der Dissertation werden die empirischen Studien in einem *Untersuchungsplan* in Kapitel 2.5.4 dargelegt.

### 2.5.1 Forschungslücken

Der Ursprung des Forschungsfelds der Verhaltensanpassung im Straßenverkehr liegt in der Interaktion von Fahrenden mit dem Fahrzeug sowie der Fahrumgebung. Etablierte Theorien und Modelle der Verhaltensanpassungen (vgl. Carsten, 2013; Lewis-Evans et al., 2013) spiegeln diesen Stand der Forschung wider (Sullivan et al., 2016). Ebenso fokussieren gegenwärtige empirische Studien zu Verhaltensanpassungen bei der Interaktion mit bedingt automatisierten Fahrzeugen (SAE Level 3) die Fahrzeugnutzenden (Metz et al., 2020; Soni et al., 2022). Konsistent mit der Definition der Verhaltensanpassung im Straßenverkehr sollten demgegenüber alle betroffenen Menschen von Veränderungen im System Mensch-Fahrzeug-Umwelt in das Forschungsfeld einbezogen werden, wie auch zu Fuß gehende Personen. Bisher werden die Erkenntnisse zur Interaktion von zu Fuß Gehenden mit hochautomatisierten Pkw primär in Simulationsumgebungen gewonnen (Rouchitsas & Alm, 2019). Zudem fehlen Untersuchungsdesigns experimenteller Studien mit Messwiederholung, um die Befunde der Studien mit erstmaliger Interaktion zu prüfen (Dommes et al., 2021; Frison et al., 2020; Tabone et al., 2021) und die Erfahrung des Menschen bei der Interaktion mit dem automatisierten System kontrolliert zu berücksichtigen. Aus diesen Gründen leitet sich die erste Forschungslücke ab:

**Forschungslücke 1:** Es fehlen experimentelle, empirische Studien, die die Bildung von Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw in realitätsnahen Versuchsumgebungen untersuchen.

---

Das Verhalten zu Fuß Gehender bei der Interaktion mit Pkw-Fahrenden bildet den Ausgangspunkt zur empirischen Untersuchung von Verhaltensanpassungen bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw (Joisten, Freund & Abendroth, 2020). Diesbezüglich konnte bereits ein prototypischer Interaktionsprozess von Menschen mit Pkw-Fahrenden identifiziert werden (Ezzati Amini et al., 2019), der sowohl frühe als auch zentrale und späte Prozesse der Informationsverarbeitung von zu Fuß Gehenden adressiert. Bei der Interaktion von zu Fuß Gehenden mit hochautomatisierten Pkw wurden bisher insbesondere die zentralen Prozesse, im Sinne der Einstellung zu hochautomatisierten Pkw (S. Zhou et al., 2022), als auch späte Prozesse, im Sinne der resultierenden Handlungen oder Entscheidungen der zu Fuß gehenden Person, adressiert (Faas, Mattes et al., 2020). Unterrepräsentiert im Stand der Forschung zur Erklärung von Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden ist das mentale Modell, das die Repräsentation des Menschen vom System widerspiegelt (Joisten, Schwindt et al., 2022; H. Liu et al., 2021). Diese Überlegungen leiten zur zweiten Forschungslücke hin:

**Forschungslücke 2:** Zur empirischen Untersuchung von Verhaltensanpassungen zu Fuß Gehender bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw fehlen Ansätze, die das mentale Modell des hochautomatisierten Pkw von zu Fuß Gehenden berücksichtigen.

Der Stand der Forschung zur Interaktion von Fahrzeugnutzenden und automatisierten Fahrzeugen postuliert einen Zusammenhang zwischen den Typen der Verhaltensanpassung (Metz et al., 2020), insbesondere zwischen dem Vertrauen in das automatisierte System als Einstellung der Fahrzeugnutzenden (Typ: Anpassung der Einstellung) und einer Verhaltensanpassung im Sinne der Handlungen bei der Bedienung des Fahrzeugs (Stanton & Young, 1998; Typ: Anpassung der (Re-) Aktionen, siehe hierzu auch Kapitel 2.1.1). Für diese Proposition fehlen bislang Forschungsarbeiten im Kontext der Interaktion von zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw. Diese Beobachtung führt zur dritten Forschungslücke:

**Forschungslücke 3:** Es fehlen empirische Untersuchungen, die den Zusammenhang zwischen den Typen der Verhaltensanpassungen (insb. zwischen dem Vertrauen als Einstellung und dem Verhalten i. e. S.) von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw prüfen.

Eine wesentliche Fragestellung der menschenzentrierten Gestaltung von hochautomatisierten Fahrzeugen betrifft die Ausprägung der Transparenz der Automation (Felzmann et al., 2019), die notwendig ist, um interagierenden Personen eine sichere, zufriedenstellende und effiziente Interaktion mit einem hochautomatisierten Fahrzeug zu ermöglichen. Forschungen zum Kommunikationsinhalt von eMMS hochautomatisierter Fahrzeuge, die als Schnittstelle zwischen zu Fuß Gehenden und Fahrzeug dienen, zeigen bisher kein eindeutiges Bild, welche Informationen von zu Fuß gehenden Personen benötigt werden und welche Effekte auf das Verhalten der zu Fuß gehenden Person daraus resultieren (Dey, Habibovic, Löcken et al., 2020). Im Spezifischen wurde zur Untersuchung der Automationstransparenz

---

bisher nur eine experimentelle Laborstudie mit Messwiederholung durchgeführt (Faas, Kao & Baumann, 2020). Um zum diesbezüglichen Stand der Forschung beizutragen, gilt es die vierte Forschungslücke zu adressieren:

**Forschungslücke 4:** Es fehlen empirische Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen der Automationstransparenz von hochautomatisierten Pkw und den Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden.

Zusammenfassend werden die *Beiträge dieser Dissertation* in einer übergeordneten Forschungslücke dargelegt: Es fehlen *empirische Erkenntnisse* über die Entstehung und den *Zusammenhang* von Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw unter dem Aspekt der *zunehmenden Erfahrung* des Menschen in *realitätsnahen Untersuchungsumgebungen*. Der Zusammenhang von technologischer Gestaltung (*Automationstransparenz*) und Verhaltensanpassung des Menschen sowie erweiterte Erklärungsansätze für die Anpassung des Verhaltens, die im *mental*en Modell des Menschen begründet sind, müssen adressiert werden.

## 2.5.2 Forschungsfragen

Aus den Forschungslücken werden nachfolgende Forschungsfragen abgeleitet. Die Forschungsfragen gliedern sich in den *Fragenkomplex Mensch* mit dem Schwerpunkt des Einflusses der Erfahrung auf die Bereitschaft zur Querung und den subjektiven Variablen des Vertrauens und mentalen Modells sowie in den *Fragenkomplex Automation* mit dem Schwerpunkt auf Fahrmodus sowie Automationstransparenz als die Interaktion beeinflussende Variablen. Die Forschungsfragen lauten im Einzelnen:

### **Fragenkomplex Mensch (bezugnehmend auf Forschungslücken 1, 2 und 3)**

Forschungsfragen 1a bis 1c: Wie ist der Zusammenhang des Anstiegs von *Erfahrung* von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw und ...

- a. ... der *Bereitschaft zur Querung* von zu Fuß Gehenden vor hochautomatisierte Pkw?
- b. ... dem *Vertrauen* von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw?
- c. ... dem *mental*en Modell von zu Fuß Gehenden bezüglich hochautomatisierter Pkw?

Forschungsfrage 2: Wie ist der Zusammenhang zwischen dem *Vertrauen* von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw und ihrer *Bereitschaft zur Querung* vor hochautomatisierten Pkw?



verzichtet, weil die Kausalität zwischen beeinflussender und beeinflusster Verhaltenskomponente bisher eine ungeklärte Forschungsfrage ist, die nicht im Rahmen dieser Dissertation beantwortet werden soll. Die (unmittelbare) Interaktion zwischen zu Fuß gehender Person und Pkw wird in einem Regelkreismodell abgebildet, das jedoch nicht im Vordergrund der Untersuchungen steht und deshalb nur beschreibend in das Arbeitsmodell aufgenommen wird.

Die zeitliche Komponente der Verhaltensanpassung von zu Fuß Gehenden wird in einer Feedback-Schleife modelliert, um den Zusammenhang zwischen der Interaktion und den menschlichen Komponenten aufzuzeigen. Zentral hierfür ist das Element der Erfahrung des Menschen, die die aktuelle Ausprägung der Interaktionserfahrung des Menschen beinhaltet.

Ausprägungen des Systemelements Pkw sind der Fahrmodus und die Automationstransparenz für den hochautomatisierten Fahrmodus. Das Modell beschreibt, dass eine Ausprägung der Erfahrung des Menschen nach der Interaktion mit diesen Systemelementen das Vertrauen als Einstellung des Menschen und das mentale Modell als kognitive Repräsentation formt, die sich in einer Bereitschaft zur Querung ausdrücken.

#### 2.5.4 Untersuchungsplan

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wird ein Untersuchungsplan aufgestellt, der qualitative und quantitative Forschungsansätze vereint. Es werden zwei empirische Studien durchgeführt: eine Interviewstudie und ein kontrollierter Feldtest. In Tabelle 2-5 werden die gewählten Untersuchungsdesigns nach den Kriterien von Döring und Bortz (2016) klassifiziert. Beide Studien verfolgen einen anwendungswissenschaftlichen Ansatz und erheben Primärdaten. Die Methode und Ergebnisse der Studien werden nach dem *Journal Article Reporting Standard (JARS)* dokumentiert und diskutiert (American Psychological Association, 2020).

Tabelle 2-5: Klassifikation des Untersuchungsdesigns von Interviewstudie und kontrolliertem Feldtest nach Döring und Bortz (2016)

<b>Klassifikationskriterien</b>	<b>Interviewstudie</b> (Forschungsfragen 1a bis 1c)	<b>Kontrollierter Feldtest</b> (Forschungsfragen 1a bis 1c, 2 und 3a bis 3c)
Wissenschaftstheoretischer Ansatz	qualitative Studie	Mixed-Methods-Studie
Erkenntnisinteresse	explorativ	explanativ (hypothesenprüfend)
Bildung und Behandlung von Untersuchungsgruppen	nicht-experimentelle Studie	quasi-experimentelle Studie
Untersuchungsort	Laborstudie	Feldstudie
Anzahl der Untersuchungszeitpunkte	Querschnittsstudie	mit Messwiederholung
Anzahl der Untersuchungsobjekte	Stichprobenstudie	Stichprobenstudie



---

## 3 Interviewstudie

---

Zu Beginn des Kapitels werden die *Untersuchungsziele* der Interviewstudie in Kapitel 3.1 dargelegt. Das eingesetzte Material sowie die *Methode* werden in Kapitel 3.2 beschrieben. Anschließend werden die *Ergebnisse* der qualitativen Inhaltsanalyse in Kapitel 3.3 berichtet und diskutiert. Das Kapitel 3.4 schließt mit einem *Fazit*.

### 3.1 Untersuchungsziele der Interviewstudie

Ein nicht-experimenteller, qualitativer Forschungsansatz wird mit dem Ziel gewählt, Erkenntnisse über die Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden vor hochautomatisierten Pkw zu erlangen und Einflussgrößen auf das mentale Modell und Vertrauen von zu Fuß Gehenden zu erheben (Beitrag zu Forschungsfrage 1a bis 1c). Diese Vorgehensweise bereitet die Ableitung eines empirischen Untersuchungsmodells und darin enthaltene Hypothesen vor.

In der Interviewstudie werden Einflussgrößen auf das Verhalten von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw untersucht, indem die Vorstellungen und Erwartungen eines Stichprobenkollektivs hinsichtlich der Technologie des hochautomatisierten Fahrens gesammelt und mögliche Auswirkungen auf das Verhalten des Menschen thematisiert werden. Im Spezifischen werden Vor- und Nachteile der Technologie des hochautomatisierten Fahrens aus der Perspektive einer zu Fuß gehenden Person explorativ untersucht. Untersuchungsaspekte sind dabei die Bereitschaft zur Querung bei der Interaktion mit einem hochautomatisierten Pkw, insbesondere unter den Aspekten des Vertrauens in die Technologie sowie des mentalen Modells bezüglich eines hochautomatisierten Pkw. Dieses explorative Vorgehen soll zu einem tiefergehenden Verständnis von (möglichen) Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden und die damit verknüpften Mechanismen einer Verhaltensanpassung beitragen. Die Zielsetzungen sind zusammenfassend:

- Sammeln von Einflussgrößen und Mechanismen, die das *Vertrauen* von zu Fuß Gehenden in und das *mentale Modell* bezüglich hochautomatisierter Pkw beeinflussen.
- Identifizieren und Bestätigen von Einflussgrößen, die die *Bereitschaft zur Querung* von zu Fuß Gehenden vor hochautomatisierten Pkw beeinflussen.

### 3.2 Methode der Interviewstudie

Zur Erreichung der Zielsetzungen wurden halbstrukturierte Interviews mit 36 Teilnehmenden durchgeführt. In Anlehnung an die Technik des fokussierten Interviews (Döring & Bortz, 2016; Merton et al., 1990) bildete ein fester grafischer Input den zentralen Stimulus für das Interview zur Untersuchung der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw.

---

### 3.2.1 Fragebogen und Interviewleitfaden

Ein Fragebogen und ein halbstrukturierter Interviewleitfaden wurden für die Interviewstudie entwickelt. Der **Fragebogen** erfasste die soziodemographischen Daten zum Alter und Geschlecht der Interview-Teilnehmenden sowie Daten zu Mobilität, Verkehrsmittelnutzung und Persönlichkeitseigenschaften.

Als zu prüfende Konfundierung der Persönlichkeitseigenschaft wurde die Variable der Selbstwirksamkeit in den Fragebogen aufgenommen und kontrolliert. Es wurde die Allgemeine Selbstwirksamkeit Kurzsкала (ASKU) von Beierlein et al. (2014) genutzt. Selbstwirksamkeit beschreibt die Einschätzung der eigenen Kompetenzen, Handlungen, auch in schwierigen Situationen, erfolgreich aus eigener Kraft bewältigen zu können (Hinz et al., 2006). Selbstwirksamkeit wurde bereits als Einflussgröße auf das Verhalten von zu Fuß Gehenden identifiziert (Demir et al., 2019) und sollte deshalb in der Interviewstudie als mögliche Konfundierung kontrolliert werden.

Des Weiteren wurde die Risikowahrnehmung der Teilnehmenden im Straßenverkehr als Persönlichkeitseigenschaft erhoben. Die Risikowahrnehmung wurde definiert als subjektives Empfinden eines Risikos in verschiedenen Situationen des Straßenverkehrs (Dinh, Vü et al., 2020). Angelehnt an Dinh, Vü et al. (2020) wurden 16 Fragen formuliert, in der die Teilnehmenden aus der Perspektive von Verkehrsteilnehmenden (Pkw-Fahrende, Fahrradfahrende, zu Fuß Gehende) die Wahrscheinlichkeit bewerten sollten, in einer beschriebenen Situationen verletzt zu werden. Dazu wurde eine fünf-stufige Ratingskala genutzt, von 1 (extrem unwahrscheinlich) bis 5 (extrem wahrscheinlich). Der Fragebogen wurde über die Plattform SoSci Survey (Leiner, 2019) umgesetzt und gehostet.

Der **halbstrukturierter Interviewleitfaden** beinhaltete drei Abschnitte im Hauptteil (siehe Anhang C für den exakten Wortlaut der Fragen des Leitfadens). Im *ersten Fragenblock* wurden die Teilnehmenden dazu aufgefordert eine Situation im Straßenverkehr zu beschreiben, in der sie in der Vergangenheit mit einem Pkw bzw. Pkw-Fahrenden interagierten. Diese Frage diente als Einstieg in das Themengebiet des Zufußgehens im Straßenverkehr und sollte die Teilnehmenden zum Sprechen animieren. Im *zweiten Fragenblock* wurde den Teilnehmenden ein Bild präsentiert, das eine Szene im Straßenverkehr zeigt und als Stimulus sowie Präsentation des Untersuchungsszenarios diente (siehe hierzu auch das Kapitel 3.2.4 zur Auswahl des Untersuchungsszenarios). Die Teilnehmenden wurden dazu angeleitet, die Szene und mögliche Verhaltensweisen der im Bild abgebildeten Personen und Fahrzeuge zu beschreiben sowie anschließend Einstellungen und Erwartungen zu hochautomatisierten Pkw zu formulieren. Im *dritten Fragenblock* des Interviewleitfadens formulierten die Teilnehmenden aus der Perspektive einer Person auf dem Bild eine selbstgewählte Verhaltensweise in der Interaktion mit dem hochautomatisierten Pkw und legten die Gründe für ihre Wahl offen.

---

### 3.2.2 Auswahl der Stichprobe

Die Auswahl der Teilnehmenden erfolgte nach bestimmten, vorab festgelegten Kriterien (Przyborski & Wohlrab-Sahr, 2021), um in der Forschung identifizierte Konfundierung bei der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und Pkw im Geschlecht (Holland & Hill, 2007) und im Alter (Dommes et al., 2014; Lobjois & Cavallo, 2007) zu kontrollieren. Es wurde festgelegt, dass eine gleiche Verteilung der Stichprobe in männliche und weibliche Teilnehmende in sechs Altersklassen erreicht werden sollte (18 bis 25 Jahre, 26 bis 35 Jahre, 36 bis 45 Jahre, 46 bis 55 Jahre, 56 bis 65 Jahre, 66 Jahre und älter). Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren wurden von der Teilnahme an dieser Studie ausgeschlossen, da sie eine besondere Gruppe von Verkehrsteilnehmenden mit einer Vielzahl unterschiedlicher Verhaltensweisen darstellen, die sie von Erwachsenen beim Zufußgehen im Straßenverkehr unterscheiden (Elliott & Baughan, 2004). Die Stichprobengröße wurde aufgrund der zu erreichenden Gleichverteilung nach Alter und Geschlecht auf drei Interviews pro Fall aus Geschlecht und Altersklasse festgelegt. Die resultierende Stichprobengröße von 36 Interviews übertrifft die Empfehlung von 20 bis 30 Interviews für qualitative Studien im Bereich der Informationssysteme (Marshall et al., 2013).

Potentielle Interview-Teilnehmende wurden über persönliche Ansprache, Online-Foren sowie Word-of-Mouth-Kommunikation kontaktiert. In einem Einladungsschreiben wurde der Untersuchungsgegenstand wie folgt beschrieben: „Für eine Studie möchte ich Sie zu einer alltäglichen Aktivität befragen: Zufußgehen im Straßenverkehr.“. Zum Zeitpunkt der Rekrutierung wurden keine weiteren Inhalte zum Gegenstand oder zu den Zielen der Studien offengelegt. Dementsprechend wurden keine Anforderungen an die Vorkenntnisse zum automatisierten Fahren an die Interview-Teilnehmenden gestellt, um den Untersuchungszweck nicht zu demaskieren. Das Einladungsschreiben enthielt weiterhin Informationen zum Ablauf der Studie (einem Fragebogen, gefolgt von einem Interview), zur Dauer der Studienteilnahme (ca. 10 Minuten für den Fragebogen und ca. 30 Minuten für das Interview) sowie zur Art der Durchführung (über Fernkommunikationsmittel). Den Teilnehmenden wurde die Anonymität ihrer Angaben im Fragebogen und Interview zugesichert.

### 3.2.3 Beschreibung der Stichprobe

#### **Soziodemographische Merkmale, Verkehrsmittelnutzung und Mobilität**

Sechsenddreißig Teilnehmende (50 % weiblich, 50 % männlich) im Alter zwischen 18 und 81 Jahren (MW = 45,1 Jahre; SD = 18,0 Jahre) bilden die Stichprobe der Interviewstudie. 32 Teilnehmende (88,9 %) besitzen einen Führerschein der Klasse B in Deutschland.

Mehr als die Hälfte der Teilnehmenden (62,5 %) gab an, weniger als 10.000 km pro Jahr mit dem Pkw zu fahren. Während 72,2 % der Teilnehmenden (n = 26) ein Automobil besitzt, liegt die Besitzquote eines Fahrrads bei 97,2 % (35 Teilnehmende). Hinsichtlich der genutzten Verkehrsmittel für berufliche Zwecke (d. h. für den Weg zum Arbeits- oder Ausbildungsplatz) gab die größte Gruppe (41,7 %) der

---

Teilnehmenden an, diese Wege mit dem Automobil zurückzulegen, gefolgt von der Verkehrsmitteloption des Fahrrads (38,9 %) und dem Zufußgehen (33,3 %; Mehrfachantworten waren möglich). Für private Wegezwecke (d. h. nicht berufliche) wählen die Teilnehmenden mehrheitlich das Fahrrad als Verkehrsmittel (80,6 %), gefolgt von dem Zufußgehen (63,9 %) sowie dem Automobil (63,9 %; Mehrfachantworten waren möglich). Die Nutzungsquote der Verkehrsmittel des ÖPNV (Busse, U-Bahnen, S-Bahnen) liegt für berufliche Wegzwecke bei maximal 22,2 % und für private Wegzwecke bei maximal 33,3 %.

Hinsichtlich der Mobilität als zu Fuß gehende Person im Straßenverkehr gaben jeweils 10 Teilnehmende (27,8 %) an, an ein bis zwei Tagen bzw. drei bis vier Tagen pro Woche mindestens 500 m zu Fuß im Straßenverkehr zu gehen (d. h. auf befestigten Straßen mit einer Fahrbahn für Fahrzeuge und Fußwegen). Acht Teilnehmende (22,2 %) gehen an fünf bis sechs Tagen pro Woche zu Fuß im Straßenverkehr und weitere acht Teilnehmende (22,2 %) gehen täglich zu Fuß. Eine Person aus dem Kollektiv der Interview-Teilnehmenden war in der Vergangenheit an einem Unfall als zu Fuß gehende Person im Straßenverkehr beteiligt.

Eine vollständige tabellarische Zusammenfassung der soziodemographischen Daten, der Daten zur Mobilität und Verkehrsmittelnutzung sowie der Daten zum Verhalten als zu Fuß gehende Person im Straßenverkehr ist im Anhang dieser Arbeit zu entnehmen (siehe Anhang D).

### **Persönlichkeitseigenschaften: Selbstwirksamkeit und Risikowahrnehmung im Straßenverkehr**

Als konfundierende Variable wurde die Selbstwirksamkeit über die Allgemeine Selbstwirksamkeit Kurzskala (ASKU; Beierlein et al., 2014) erfasst. Auf der fünf-stufigen Likert-Skala (bestehend aus drei Items mit einer Bewertung von 1 - „trifft gar nicht zu“ - bis 5 - „trifft voll und ganz zu“) erreichen die Interview-Teilnehmenden Werte im Bereich von 2,7 bis 5 (MW = 4,19; Mdn = 4; SD = 0,55; N = 36). Die Risikowahrnehmung im Straßenverkehr, operationalisiert als subjektiv wahrgenommene Wahrscheinlichkeit in Situationen im Straßenverkehr verletzt zu werden, wurde auf einer Rating-Skala von 1 (extrem unwahrscheinlich) bis 5 (extrem wahrscheinlich) bewertet. In der Rolle eines Fahrradfahrenden bewerten die Teilnehmenden ihr Risiko am höchsten (Mdn = 4). Als zu Fuß gehende Person im Straßenverkehr und Mitfahrende im Pkw (Mdn = 3) bewerten die Teilnehmenden das Risiko höher als in der Rolle des Fahrenden eines Pkw (Mdn = 2,5). Das Risiko als zu Fuß gehende Person wird bei der Nichtbenutzung des Gehweges, bei dem Hervortreten vor Sichthindernissen sowie bei fehlender Aufmerksamkeit beim Queren einer Straße als am höchsten bewertet (Mdn = 4).

Das wahrgenommene Risiko, als zu Fuß gehende Person durch einen Pkw im konventionellen oder automatisierten Fahrmodus verletzt zu werden, unterscheidet sich nicht statistisch signifikant (Mdn = 3; W = 207;  $p = 0,219$ ; Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test mit Kontinuitätskorrektur).

### 3.2.4 Untersuchungsszenario

In Anlehnung an die Technik des fokussierten Interviews (vgl. Döring & Bortz, 2016; Merton et al., 1990) wurde ein grafischer Input präsentiert, der in Abbildung 3-1 dargestellt ist. Das Bild zeigt eine städtische Verkehrsumgebung mit einer zweistreifigen Fahrbahn mit zwei Fahrzeugen und drei zu Fuß Gehenden auf einem Gehweg. In der rechten Bildhälfte ist ein Pkw dargestellt, an dem ein Sensor auf dem Dach angebracht ist. Es befindet sich keine fahrende Person am Lenkrad des Pkw, d. h. der Pkw wird im hochautomatisierten Fahrmodus dargestellt. Am linken Bildrand ist ein Bus mit einer fahrenden Person abgebildet, der in das Bild einfährt. Ein Schild mit der Aufschrift „Bus Stop“ ist am rechten Bildrand zu sehen. Ein Fußgänger in der Bildmitte rennt auf dem Gehweg nach rechts und zwei weitere Fußgängerinnen, jeweils in der linken und rechten Bildhälfte, gehen auf dem Gehweg zur Bildmitte.



Abbildung 3-1: Untersuchungsszenario der Interviewstudie. Das Untersuchungsszenario wurde für Teilnehmerinnen mit einer weiblichen zu Fuß gehenden Person und für Teilnehmer mit einer männlichen zu Fuß gehenden Person in der linken Bildhälfte dargestellt, weil die Teilnehmenden die jeweilige Perspektive dieser Person im dritten Fragenblock des Interviews einnehmen sollten. (Bildquellen: © Freepik.com. Dieses Bild wurde mit Ressourcen von Freepik.com erstellt. Automatisiertes Fahrzeug, Bus und Menschen: Designed von macrovector; Bus Stop: Designed von slidesgo; Stadt: Designed von vectorpocket)

Die Stadt wurde als Ort des Untersuchungsszenarios gewählt, weil dort Interaktionen zwischen zu Fuß Gehenden und Fahrzeugen hauptsächlich stattfinden (Schneemann & Gohl, 2016) und die Stadt die Rahmenbedingungen der Interaktion, bspw. die maximale Fahrzeuggeschwindigkeit von 50 km/h innerhalb von geschlossenen Ortschaften in Deutschland (§ 3 Absatz 3 Satz 1 StVO), als erlernte Konventionen des Straßenverkehrs determiniert. Der Untersuchungsgegenstand des hochautomatisierten Pkw ist mit einem Sensor auf dem Dach (vgl. Ackermans et al., 2020) und einem leeren Fahrzeuginnenraum als solcher identifizierbar. Der Pkw wurde nicht explizit als hochautomatisiert fahrender Pkw eingeführt. Im Falle, dass Teilnehmende den Pkw nicht als hochautomatisierten Pkw erkannten, wurde der hochautomatisierte Pkw erst nach der Beschreibung des Bildes durch die Teilnehmenden demaskiert (im Laufe des zweiten Frageblocks).

---

Der einfahrende Bus mit fahrender Person in der unteren linken Bildhälfte wurde gewählt, um ein Szenario, d. h. eine sich aus Situationen entwickelnde Handlung aufzubauen. Zur Beschreibung des Szenarios wurde den Interview-Teilnehmenden im dritten Frageblock folgender Text vorgelesen: „Versetzen Sie sich nun in die Lage des Mannes/der Frau am Straßenrand in der linken Bildhälfte. Sie möchten die Straßen überqueren, um den anfahrenden Bus auf der anderen Straßenseite zu erreichen. Sie hatten einen langen Arbeitstag hinter sich. Die Busse fahren nur alle 30 Minuten, d. h., wenn Sie diesen Bus verpassen, haben Sie eine längere Wartezeit.“. Diese Beschreibung des Szenarios wurde gewählt, um eine Dringlichkeit der Situation zu vermitteln, die die Teilnehmenden zur Interaktion mit dem hochautomatisierten Pkw motiviert und dabei die Einflussgröße der Wartezeit inkludiert (Cœugnet et al., 2019).

Bei der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und Pkw-Fahrenden ist die subjektive Norm, die sich auf den subjektiv wahrgenommenen sozialen Druck bezieht ein bestimmtes Verhalten auszuführen oder nicht auszuführen (Ajzen, 1991), eine wichtige erklärende Einflussgröße der Verhaltensintention von zu Fuß Gehenden (Gannon et al., 2014; H. Zhou et al., 2016). Deshalb wurden weitere zu Fuß gehende Personen in das Bild integriert, um den Einfluss einer subjektiven Norm als möglichen Einflussfaktor auf das Verhalten untersuchen zu können.

### 3.2.5 Ablauf der Interviewstudie

Die Interviewstudie wurde im Zeitraum vom 7. Mai 2020 bis zum 10. Juli 2020 durchgeführt. Der Hauptteil der Interviews dauerte zwischen 18 und 33 Minuten (im Durchschnitt 24,3 Minuten). Aufgrund der COVID-19-Pandemie und den damit verbundenen Rahmenbedingungen (Bundesministerium für Gesundheit, 2022) wurden die Interviews mit Mittel der Fernkommunikation durchgeführt. Es wurden die Video-Konferenztools Zoom oder Skype sowie das Telefon genutzt. Während der Video-Konferenz wurden die Kamerabilder der Beteiligten nach Präferenz der interviewten Person an- oder ausgeschaltet. Das Bild zum Untersuchungsszenario wurde entweder auf dem Bildschirm präsentiert oder den Teilnehmenden vorab per E-Mail zugeschickt. In diesem Fall sollten die Teilnehmenden das Bild erst nach Aufforderung durch den Interviewer öffnen. Es wurde keine Aufwandsentschädigung für die Teilnahme an der Interviewstudie gewährt.

Nach dem Versenden des Einladungsschreibens füllten die Teilnehmenden den Fragebogen zu einem selbstgewählten Zeitpunkt aus und führten mit einem zeitlichen Versatz von weniger als eine Stunde bis zu fünf Tagen das Interview durch. Das Interview startete mit einer Begrüßung, nach der die Zustimmung zur Teilnahme an der Studie eingeholt und eine Tonaufnahme gestartet wurde. Im Anschluss an den Hauptteil des Interviews wurde die Tonaufnahme gestoppt und das Interview nachbesprochen, d. h. die Teilnehmenden hatten die Möglichkeit Fragen zu stellen und Feedback zu geben.

### 3.2.6 Vorgehen bei der Auswertung des Interviews

Die Gesamtlänge der Tonaufnahmen der 36 Interviews betrug 14:34 Stunden. Die Interviews wurden wortwörtlich transkribiert und in Anlehnung an die Prozedur der *Qualitativen Inhaltsanalyse* nach Mayring (2014) ausgewertet. Das gewählte Vorgehen in Anlehnung an die Qualitative Inhaltsanalyse orientiert sich an gegenwärtigen Interviewstudien zur Nutzung und Akzeptanz von automatisierten Fahrzeugen (Hilgarter & Granig, 2020; Nordhoff et al., 2019).

Das Vorgehen basierte auf drei Schritten, die vom Autor dieser Arbeit durchgeführt wurden. Im *ersten Schritt* wurden den Daten manuell Subkategorien und Codes zugewiesen. Die Codierung der Daten wurde mit der Software MAXQDA 2020 (VERBI Software, 2021) durchgeführt, die bereits in qualitativen Studien in der Mensch-Fahrzeug-Interaktion eingesetzt wurde (bspw. Hilgarter & Granig, 2020). Es wurde eine gemischte Prozedur bei der Codierung der Daten gewählt, die induktive und deduktive Ansätze der Qualitativen Inhaltsanalyse vereint (Mayring, 2014). Die gemischte Prozedur eignet sich insbesondere für die Erreichung der Zielstellungen der Interviewstudie, weil auf die Erkenntnisse des Stands der Forschung im Gebiet der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und automatisierten Pkw zurückgegriffen und gleichzeitig neue explorative Erkenntnisse gewonnen werden sollten. Die Definition der Subkategorien und Codes erfolgte anhand der Untersuchungsziele der Interviewstudie und relevanter Review-Studien und technologischer Standards. Tabelle 3-1 fasst die im ersten Auswertungsschritt genutzten Kategorien, Subkategorien und Codes zusammen.

Tabelle 3-1: Kategorien- und Code-System zu Beginn der Auswertung der Interviewstudie

Kategorien (abgeleitet aus der Zielsetzung der Interviewstudie)	Subkategorien	Codes basierend auf
<i>Fragenblock 2 und 3</i>		
Vertrauen in automatisierte Pkw	Ausgewählte Ebenen des Vertrauens nach Hoff und Bashir (2015): situativ und initial erlernt (*)	S. Zhou et al. (2022)
Mentales Modell bezüglich automatisierter Fahrzeuge	Klassifikation der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe nach SAE International (2021)	Erwartungen zu Systemfähigkeiten und -limitationen eines hochautomatisierten Pkws
<i>Nur Frageblock 3</i>		
Einflussgrößen auf die Bereitschaft zur Querung	Rasouli & Tsotsos, 2020 (siehe Kapitel 2.3.1 und Abbildung 2-3 dort)	Rasouli & Tsotsos, 2020 (siehe Kapitel 2.3.1 und Abbildung 2-3 dort)

*Anmerkung.* (\*) Auf die Verwendung der Ebenen des dispositiven und dynamisch erlernten Vertrauens wurde verzichtet. Das dispositive Vertrauen beinhaltet Subkategorien wie Geschlecht, Alter, Kultur und Persönlichkeitseigenschaften der Teilnehmenden, die bereits durch den Fragebogen erhoben wurden und nicht im Fokus der Untersuchungsziele der Interviewstudie standen. Das dynamisch erlernte Vertrauen adressiert Elemente des Vertrauens während bzw. nach einer Interaktion mit dem System. Dieser zeitliche Aspekt war kein Gegenstand der Interviewstudie bzw. konnte nicht abgebildet werden.

---

Weitere Subkategorien und Codes wurden beim Lesen der Texte im Sinne eines induktiven Vorgehens gebildet. Zur Codierung wurden die Transkripte gelesen, Textstellen hervorgehoben und entweder den zu Beginn definierten Subkategorien und Codes oder einer neu gebildeten Subkategorie und Codes zugewiesen.

Im *zweiten Schritt* wurden die Texte erneut gelesen, die zugewiesenen Subkategorien und Codes verfeinert sowie einer Revision unterzogen.

Der *dritte Schritt* beinhaltete die Analyse der zugewiesenen Codierung der Texte. Dazu wurden die Codes innerhalb einer Subkategorie nach ihrer Häufigkeit gezählt. Gleiche Codes innerhalb eine Subkategorie von einer Person wurden geclustert und nur einmal gezählt, d. h. die Anzahl der Codes repräsentiert die Anzahl der Teilnehmenden, die sich in der Subkategorie äußerten (Nordhoff et al., 2019). Wenn ein Code zu unterschiedlichen Subkategorien passte, wurde er mehrmals zugeordnet.

Zur Ergebnispräsentation wurden einzelne Zitate (codierte Textstellen) ausgewählt. Die ausgewählten Zitate werden in Abhängigkeit der Häufigkeit eines Codes wie folgt dargestellt:

- bis zu 12 Nennungen: 1 Zitat
- bis zu 24 Nennungen: 2 Zitate
- bis zu 36 Nennungen: 3 Zitate

Das Material der Interviewstudie, bestehend aus dem Rohmaterial der Transkripte sowie einer vollständigen Auflistung von Kategorien, Subkategorien und Codes, können im Verzeichnis der Datensätze abgerufen werden.

### **3.3 Ergebnisse und Diskussion der Interviewstudie**

Die *Bildung von Kategorien* wird in Kapitel 3.3.1 dargelegt. Anschließend werden in Kapitel 3.3.2 die Ergebnisse zum *situativen und initial erlernten Vertrauen* und in Kapitel 3.3.3 die Ergebnisse zu dem *mental Modell bezüglich hochautomatisierter Pkw* berichtet und diskutiert. In Kapitel 3.3.4 werden die Ergebnisse zu den *Einflussgrößen auf die Bereitschaft zur Querung* wiedergegeben und diskutiert. Das Kapitel 3.3.5 schließt mit einer *Diskussion zur Methode und zum Material der Interviewstudie*.

#### **3.3.1 Bildung von Kategorien**

Die Codierung der Daten ist in Abbildung 3-2 in den Kategorien (1) Vertrauen in den und (2) mentales Modell bezüglich des hochautomatisierten Pkw und den jeweiligen Subkategorien und vergebenen Codes dargestellt. Alle codierten Textstellen im digitalen Anhang dieser Arbeit gelistet (siehe Verzeichnis der Datensätze).



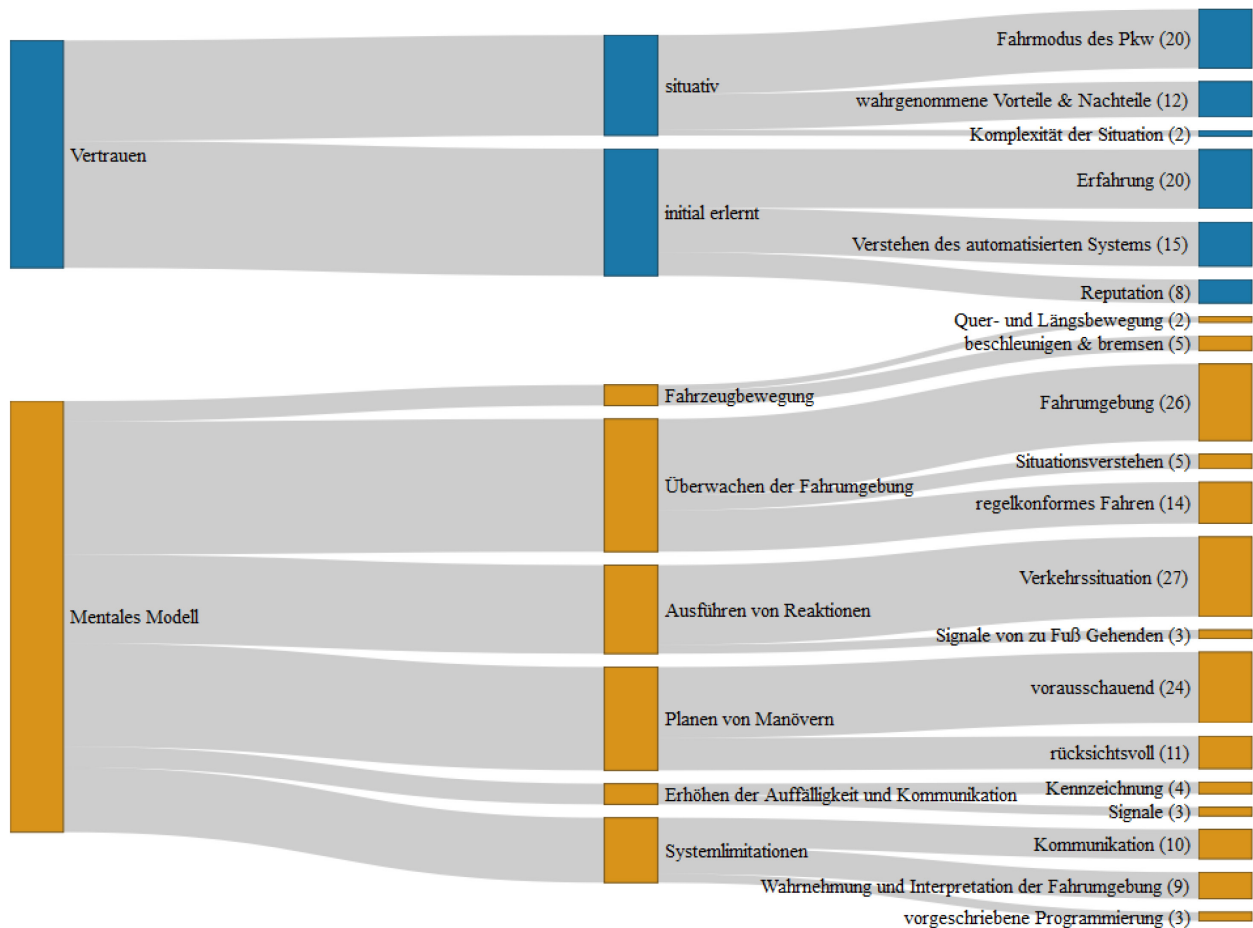


Abbildung 3-2: Bildung von Kategorien in der Interviewstudie; in Klammern ist die Häufigkeit der vergebenen Codes angegeben

### 3.3.2 Situatives und initial erlerntes Vertrauen

Die Ergebnisse werden getrennt nach dem situativen und dem initial erlernten Vertrauen berichtet.

#### Situatives Vertrauen

Ergebnisse: Die Aussagen von 26 Interview-Teilnehmenden werden der Subkategorie des situativen Vertrauens in automatisierte Pkw zugeordnet. Die Aussagen in dieser Subkategorie des Vertrauens beschreiben das sich Verlassen eines Menschen auf das automatisierte System in einer spezifischen Situation.

Die größte Anzahl an Aussagen betreffen den *Fahrmodus des Pkw* (Code-Nr. 1, Häufigkeit des Codes = 20), bestehend aus konventionellen oder automatisierten Fahrmodus. Während sechs Interview-Teilnehmende keinen Unterschied in ihrem Vertrauen in Abhängigkeit des Fahrmodus des Pkws angeben, geben sieben Teilnehmende an, sich aufgrund der Neuheit der Technologie weniger auf einen automatisierten Pkw zu verlassen, im Vergleich zu einem konventionellen Pkw mit fahrender Person. Weitere sieben Interview-Teilnehmende thematisieren die Veränderung in der Kommunikation mit dem Pkw, bspw. der fehlende Blickkontakt mit der fahrenden Person in Bezug auf ihr situatives Vertrauen in den Pkw.

---

An den Fahrmodus des Pkw anschließend werden *wahrgenommene Vorteile und Nachteile* (Code-Nr. 2, Häufigkeit = 12) bei der Interaktion mit einem hochautomatisierten Pkw als Einflussgrößen auf das situative Vertrauen genannt. Die wahrgenommenen Vorteile beziehen sich auf die Reaktionszeit, Aufmerksamkeit und Berechenbarkeit eines hochautomatisierten Pkws in einer Verkehrssituation und einem darin begründeten gesteigerten situativen Vertrauen in das automatisierte System. Demgegenüber werden Nachteile in technischen Defekten und Limitationen der Sensoren gesehen, die das situative Vertrauen in hochautomatisierte Pkw vermindern.

Als weiteres Element des situativen Vertrauens wird die *Komplexität der Situation* angegeben (Code-Nr. 3, Häufigkeit = 2). Die Aussagen von zwei Interview-Teilnehmenden deuten auf eine Beeinflussung des situativen Vertrauens durch Wetterbedingungen sowie mitfahrenden Personen des hochautomatisierten Pkw hin.

---

**Ausgewählte Zitate der Teilnehmenden zum Vertrauen: Situatives Vertrauen**

---

„Hat wiederum nichts damit zu tun, ob ich da jetzt wahrnehme, das ist selbstfahrend oder das ist ein normales Auto. Das würde ich wahrscheinlich gar nicht wahrnehmen, sondern erstmal nur das weiße Auto.“ (Code-Nr. 1, männlich, 60 Jahre, ID4)

„Ja, das würde auf jeden Fall einen Unterschied machen. Also, wenn ein Mensch drinsitzt, hätte ich Vertrauen rein, dass die Sache (...) einfach läuft, ja. Und wenn es ohne Fahrer unterwegs wäre, (...) dann würde ich das schon erst einmal beobachten, was ich normalerweise nicht mache, wenn ein Mensch drinsitzt.“ (Code-Nr. 1, weiblich, 71 Jahre, ID19)

„Gleichzeitig, wenn jetzt ein Fahrer oder eine Fahrerin am Steuer sitzt, dann ist es ja durchaus möglich, dass er oder sie am Handy spielt, unkonzentriert ist, müde ist und dann halt einfach diese zwei Sekunden zu lange schläft und mich erwischt. Und bei einem automatisierten Auto hätte ich halt schon die Erwartung, dass es immer gleich aufmerksam ist, sich sozusagen immer auf demselben Niveau befindet, was die Aufmerksamkeit und die Reaktionsfähigkeit betreffen.“ (Code-Nr. 2, weiblich, 36 Jahre, ID18)

„Und eventuell könnte das, wenn es nicht schneit, oder nicht regnet oder kein Eis liegt, kein Nebel (...) ein autonomes Fahrzeug, das eventuell sogar besser als ein Mensch.“ (Code-Nr. 3, weiblich, 58 Jahre, ID1)

---

Diskussion: Der hochautomatisierte oder konventionelle *Fahrmodus* eines Pkw wird von den Teilnehmenden nicht einheitlich positiv oder negativ bewertet. Das situative Vertrauen einer Gruppe von Teilnehmenden (6/36) wird nicht von dem Fahrmodus beeinflusst. Für diese Teilnehmenden ist die Lückenakzeptanz ein primäres Entscheidungskriterium bei der Interaktion mit Pkw, wobei die explizite Kommunikation mit fahrenden Personen eine untergeordnete Rolle spielt (vgl. Y. M. Lee et al., 2021). Der hochautomatisierte Fahrmodus nimmt keinen Einfluss auf das intendierte Verhalten dieser Gruppe von Teilnehmenden, weil sie von einer Gleichheit der impliziten Kommunikation und der Fahrweise beider Fahrmodi ausgehen (vgl. Bazilinsky, Sakuma & Winter, 2021; Cascetta et al., 2022).

Eine andere Gruppe von Teilnehmenden (14/36) diskutiert *wahrgenommene Vor- und Nachteile*, die aus dem hochautomatisierten Fahrmodus des Pkws resultieren und zeigt dabei positive oder negative Einstellungen zum hochautomatisierten Fahren (Joisten, Niessen & Abendroth, 2021). Während positive Einstellungen primär mit einer Erhöhung der Verkehrssicherheit durch den Ausschluss eines möglichen menschlichen (Fehl-)Verhaltens bei der Fahrzeugführung begründet werden, weisen Aussagen zu negativen Einstellungen auf eine grundlegende Skepsis der Teilnehmenden hinsichtlich der

---

technologischen Reife des hochautomatisierten Fahrens in urbanen Fahrumgebungen hin (vgl. Rahman et al., 2021).

Von sechs Teilnehmenden wird eine Veränderung in der Kommunikation zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw als nachteilig für das situative Vertrauen in den hochautomatisierten Pkw gesehen und mit fehlenden Kommunikationsmöglichkeiten mit einem hochautomatisierten Pkw begründet. Weil die Teilnehmenden nicht instruiert wurden hinsichtlich der Entwicklungs- und Forschungsarbeiten zu eMMS von automatisierten Fahrzeugen, deutet dieser Befund darauf hin, dass eine Instruktion bzw. Aufklärung von zu Fuß Gehenden über das hochautomatisierte Fahren und eMMS notwendig ist (vgl. Hensch et al., 2020), um das situative Vertrauen in hochautomatisierte Pkw zu stärken.

### **Initial erlerntes Vertrauen**

Ergebnisse: Die Aussagen von 29 Interview-Teilnehmenden werden der Subkategorie des initial erlernten Vertrauen zugeordnet, das die Beurteilung eines hochautomatisierten Pkws durch die Versuchspersonen vor einer Interaktion adressiert (Hoff & Bashir, 2015).

Die größte Anzahl der Interview-Teilnehmenden führt fehlende *Erfahrung* in der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw (Code-Nr. 1, Häufigkeit des Codes = 20) als Einflussgröße auf ihr initial erlerntes Vertrauen in das automatisierte System an. Hinsichtlich der Erfahrung mit hochautomatisierten Pkw bilden sechs Interview-Teilnehmende Analogien zu anderen automatisierten Systemen und begründen damit ein tendenzielles Vertrauen oder Misstrauen in hochautomatisierte Pkw. Die Mitfahrt in einem teilautomatisierten Pkw (SAE Level 2) und der Autopilot von Flugzeugen oder Schiffen werden als positive Beispiele für das Vertrauen in hochautomatisierte Pkw angeführt. Demgegenüber nennen drei Personen negative Erfahrungen mit Haushaltsgeräten und Navigationsgeräten als Beispiele für ein tendenzielles Misstrauen in die automatisierte Technologie des hochautomatisierten Fahrens.

Des Weiteren wird das initial erlernte Vertrauen auf das *Verstehen des automatisierten Systems* zurückgeführt (Code-Nr. 2, Häufigkeit = 15). Die Interview-Teilnehmenden nennen fehlendes Wissen oder mangelnde Informationen über das hochautomatisierte Fahren als Einflussfaktoren auf ihr initial erlerntes Vertrauen in hochautomatisierte Pkw.

Als weitere Einflussgröße auf das initial erlernte Vertrauen wird die *Reputation* (Code-Nr. 3, Häufigkeit = 8) eines hochautomatisierten Pkws im Straßenverkehr genannt. Die Interview-Teilnehmende nennen das Zulassungswesen für Kraftfahrzeuge in Deutschland, Tests des automatisierten Fahrens in Testfeldern sowie die Reputation von herstellenden und betreibenden Unternehmen von automatisierten Fahrzeugen als Einflussgrößen auf ihr initial erlerntes Vertrauen in hochautomatisierte Pkw.

---

### Ausgewählte Zitate der Teilnehmenden zum Vertrauen: **Initial erlerntes Vertrauen**

---

„Weil ich dem Thema, glaube ich, erst trauen würde, wenn ich es einige Male gesehen habe.“ (Code-Nr. 1, weiblich, 36 Jahre, ID18)

„Ich bin schon mit autonom gefahren tatsächlich, also mitgefahren. Ich habe einen Freund, der hat (...) [einen] Tesla (...). Und ich muss sagen, ich habe mich dort sehr wohl gefühlt. Und ich habe dem Auto Vertrauen geschenkt. Ich habe auch gemerkt, dass es tut, was es tun muss.“ (Code-Nr. 1, männlich, 25 Jahre, ID6)

„Einfach, weil ich persönlich zu wenig darüber weiß und keine Ahnung habe, ob diese Notfall Bremsassistenten dann funktionieren oder nicht, oder ob das bei dem Modell so gibt oder nicht.“ (Code-Nr. 2, männlich, 20 Jahre, ID17)

„Das weiß man noch heute gar nicht, wie die Dinger da, wie das richtig funktioniert in der Stadt. Ich habe auch zu wenig darüber gelesen.“ (Code-Nr. 2, männlich, 73 Jahre, ID35)

„Eine Zulassung dürfen sie eigentlich auch nur für selbständiges Fahren bekommen, wenn so etwas funktionieren würde.“ (Code-Nr. 3, männlich, 65 Jahre, ID30)

---

Diskussion: Die Mehrheit der Teilnehmenden (20/36) weist auf fehlende *Erfahrung* in der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw und daraus resultierende unvollständige Beurteilungen des hochautomatisierten Fahrens hin. Dieser Befund deutet auf einen zu erwartenden Effekt der Verhaltensanpassung hin, wenn zu Fuß Gehende mehr Erfahrung in der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw sammeln. Zudem unterstützt dieses Ergebnis die Befunde einer Befragungsstudie in einem Testfeld von hochautomatisierten Fahrzeugen (Pittsburg, USA), in der Personen mit direkter Erfahrung in der Interaktion mit hochautomatisierten Fahrzeugen als zu Fuß gehende Personen signifikant höhere Erwartungen an die Sicherheit des hochautomatisierten Fahrens angeben, als Personen ohne direkte Interaktionserfahrung (Penmetsa et al., 2019). Des Weiteren wurde der Einfluss der Erfahrung bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw auf das Vertrauen von Nutzenden automatisierter Fahrzeuge bereits nachgewiesen (Feys et al., 2021), was den Stellenwert der Erfahrung mit hochautomatisierten Pkw zur Kalibrierung des Vertrauens hervorhebt (vgl. J. D. Lee & See, 2004).

Damit einhergehend wirkt sich fehlendes *Wissen zu hochautomatisierten Pkw* der Interview-Teilnehmenden auf das initial erlernte Vertrauen in hochautomatisierte Pkw negativ aus. Die Vermittlung von Wissen zu automatisierten Fahrzeuge im Straßenverkehr kann das Verhalten von Nutzenden beeinflussen (Blömacher et al., 2020), weshalb der Befund der Interviewstudie darauf hinweist, dass zu Fuß Gehenden Wissen zum hochautomatisierten Fahren vermittelt werden sollte, um das initial erlernte Vertrauen in die Technologie zu stärken. Des Weiteren deuten die Aussagen oder Analogien der Teilnehmenden mit Erfahrungen mit anderen automatisierten Systemen auf eine Kompensation des fehlenden Wissens über das hochautomatisierte Fahren und auf ein daraus gewonnenes Vertrauen in die Technologie hin (vgl. J. D. Lee & Kolodge, 2020).

Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse der Interviewstudie, dass das Vertrauen der Interview-Teilnehmenden auch von der *Reputation* des hochautomatisierten Fahrens beeinflusst wird (vgl. Forster et al., 2018; Reig et al., 2018). Die Teilnehmenden äußerten hohe Erwartungen an die zu Fuß gehende Person an die

---

Sicherheit der Technologie des hochautomatisierten Fahrens, wenn diese für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassen sind.

### 3.3.3 Erfassung des mentalen Modells bezüglich hochautomatisierter Pkw

Das mentale Modell der Interview-Teilnehmenden umfasst Aussagen über die (erwarteten) Fähigkeiten und Limitationen eines hochautomatisierten Pkws im Straßenverkehr. Zur Codierung der Texte wurde das konzeptuelle Modell der dynamischen Fahraufgabe nach SAE International (2021) genutzt. Es bildeten sich im Laufe der Codierung folgende Subkategorien des mentalen Modells: Steuern der Fahrzeugbewegung, Überwachung der Fahrumgebung, Ausführen von Reaktionen, Planen von Manövern, Erhöhen der Auffälligkeit und Kommunikation sowie Systemlimitationen.

#### **Steuern der Fahrzeugbewegung**

Fünf Interview-Teilnehmende formulieren die grundlegende Erwartung, dass sich ein hochautomatisierter Pkw in *Quer- und Längsrichtung* mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegen (Code-Nr. 1, Häufigkeit des Codes = 2) sowie die Bewegung durch *Bremsen und Beschleunigen* kontrollieren kann (Code 2, Häufigkeit = 5).

---

#### **Ausgewählte Zitate der Teilnehmenden zum mentalen Modell: Fahrzeugbewegung**

---

„Idealerweise fährt es einfach die Straße entlang, mit entsprechender Geschwindigkeit.“ (Code-Nr. 1, männlich, 65 Jahre, ID30)

„Es muss erstmal bremsen können.“ (Code-Nr. 2, weiblich, 71 Jahre, ID19)

---

#### **Überwachen der Fahrumgebung**

30 Interview-Teilnehmende beziehen sich auf die Überwachung der Fahrumgebung durch den hochautomatisierten Pkw. Sie erwarten, dass ein hochautomatisierter Pkw die *Fahrumgebung* erfassen und verstehen kann (Code-Nr. 1, Häufigkeit des Codes = 26). Nach den Aussagen der Interview-Teilnehmenden beinhaltet die Fahrumgebung Menschen auf und neben dem Fahrstreifen, andere Fahrzeuge sowie Hindernisse auf der Fahrbahn, Verkehrszeichen und die Verkehrsinfrastruktur, wie bspw. Zebrastreifen, Fahrradwege oder Bushaltestellen.

Neben der Erfassung der Fahrumgebung wird auch das *Situationsverstehen* gegenüber zu Fuß Gehenden von den Interview-Teilnehmenden thematisiert (Code-Nr. 2, Häufigkeit = 5). Demzufolge sollte ein hochautomatisierter Pkw zu Fuß gehende Personen nicht nur als Person wahrnehmen können, sondern auch Informationen zur Intention der Person durch die Laufrichtung, Positionierung der Körperachse, Disposition der Person (bspw. in Bezug auf das Alter) und Gesten überwachen können. Des Weiteren wird spezifiziert, dass die Überwachung der Fahrumgebung rund um das Fahrzeug stattfindet und auch bei Nacht funktioniert.

Die Interview-Teilnehmenden erwarten ein *regelkonformes Fahren* des hochautomatisierten Pkws (Code-Nr. 3, Häufigkeit = 14), insbesondere in Bezug auf die gewählte Geschwindigkeit beim Fahren. Die

---

Überwachung der Fahrumgebung schließt dementsprechend auch die zugrundeliegenden formellen und informellen Regeln der Straßenverkehrssituation ein.

---

**Ausgewählte Zitate der Teilnehmenden zum mentalen Modell: Überwachen der Fahrumgebung**

---

„Das Erkennen von Verkehrsschildern oder Zebrastreifen; eben auch Verkehrssituationen, die für den Fahrzeugverkehr natürlich unabdingbar sind.“ (Code-Nr. 1, männlich, 41 Jahre, ID11)

„Straßenschilder wahrnehmen, bzw. Ampeln zum Beispiel. Dann auch vorausfahrende Fahrzeuge, auf den Abstand achten.“ (Code-Nr. 1, männlich, 19 Jahre, ID28)

„Ja, dass man genau das alles im Blick [hat], was die Menschen drumherum machen. Dass der Bus da anfährt, dass die anfangen zu rennen. Und dass, ich gerade an der Bushaltestelle vorbei gefahren bin. Das ist ja wirklich auch die Schwierigkeit (...) beim autonomen Fahren. Dass man das mit irgendwie im Blick hat.“ (Code-Nr. 1, weiblich, 46 Jahre, ID34)

„Aber hier wäre zum Beispiel halt auch eine Wahrnehmung der Körperachse (...) irgendwie notwendig.“ (Code-Nr. 2, weiblich, 36 Jahre, ID15)

„Wenn das in der Fahrschule als Verkehrsregel so gelernt wird, dass das dann eben auch von einem autonom fahrenden Fahrzeug genauso gehandhabt werden müsste.“ (Code-Nr. 3, weiblich, 31 Jahre, ID3)

„Wie nennt man das so schön: regelkonform im Straßenverkehr verhält. Sich an die Regeln hält und die Verkehrsschilder, Zeichen etc. beachtet (...).“ (Code-Nr. 3, männlich, 25 Jahr, ID6)

---

### **Ausführen von Reaktionen**

Es wird erwartet, dass ein hochautomatisierter Pkw auf die *Verkehrssituation* in der Fahrumgebung reagieren kann, insbesondere auf Personen auf und neben dem Fahrstreifen (Code-Nr. 1, Häufigkeit des Codes = 27). Die Reaktionen beschreiben die Interview-Teilnehmenden mit ‚Abbremsen‘, ‚Reduzieren der Geschwindigkeit‘ oder ‚Ausweichen‘. Dabei wird ein Unterschied im Vorrang und der Intention der zu Fuß gehenden Person diskutiert.

Zudem wird dem Pkw die Fähigkeit einer Not- bzw. Gefahrenbremsung zugeschrieben. Des Weiteren wird ausgeführt, dass ein hochautomatisierter Pkw auf *Signale* bzw. Handzeichen *von zu Fuß Gehenden* auf dem Gehweg reagieren sollte (Code-Nr. 2, Häufigkeit = 3).

---

**Ausgewählte Zitate der Teilnehmenden zum mentalen Modell: Ausführen von Reaktionen**

---

„Das heißt, sobald jemand vor diesem Auto die Straße überqueren würde, würde dieses Auto sofort anhalten, mit einem gewissen Sicherheitsabstand.“ (Code-Nr. 1, männlich, 30 Jahre, ID17)

„Ja gut, meine Erwartung wäre einfach, dass das Fahrzeug reagiert; dass das Fahrzeug (...) auf Bewegung reagiert.“ (Code-Nr. 1, weiblich, 71 Jahre, ID19)

„Also wenn ich mir vorstelle, ich gehe (...) über eine Straße, wo ich vielleicht sogar gesetzlich gesehen nicht unbedingt das Recht habe, drüber zu gehen, weil es jetzt keine grüne Ampel ist oder ein Zebrastreifen. Aber die Regel besagt, dass man als Fußgänger an dieser Stelle vorgelassen wird. Wie eben an diesen Einbahnstraßen, die man überquert, dann erwarte ich eben, dass an der Stelle das Fahrzeug auch hält und mich vielleicht dann wahrnimmt.“ (Code-Nr. 1, weiblich, 27 Jahre, ID21)

„Dann müsste das Auto aber wissen, dass ich da überhaupt rüber will und das geht ja erst, wenn ich es signalisiere. Nur ich kann ja eigentlich nicht wirklich signalisieren, dann müsste ich meine Hand ausstrecken. Wie bei den Erstklässlern, wenn die über einen Zebrastreifen wollen. Dann wüsste der: Ok, die Frau will jetzt hier rüber.“ (Code-Nr. 2, weiblich 56 Jahre, ID9)

---

### **Planen von Manövern**

Bei der Planung von Manövern im Straßenverkehr wird erwartet, dass dies *vorausschauend* und der Verkehrssituation angepasst funktioniert (Code-Nr. 1, Häufigkeit des Codes = 24). Als Beispiel für das vorausschauende Einbeziehen der gesamten Fahrumgebung wird eine reduzierte Geschwindigkeit an Haltestellen genannt.

---

Des Weiteren geben Interview-Teilnehmende an, dass ein hochautomatisierter Pkw *rücksichtsvoll* mit Menschen im Straßenverkehr (zu Fuß Gehende und Fahrende) interagieren sollte (Code-Nr. 2, Häufigkeit = 11). Beim Planen von Manövern sollte der Verkehrsfluss aufrecht gehalten und ein entsprechender Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmenden eingehalten werden.

---

Ausgewählte Zitate der Teilnehmenden zum mentalen Modell: **Planen von Manövern**

---

„Ja, so eigentlich wie (...) ein vernünftiger Autofahrer auch. (...) Aber jetzt nicht irgendwie immer stehenbleiben oder sowas, sondern einfach wie ein vernünftiger, guter Autofahrer, der alles im Blick hat, mit allem rechnet. Mit jeder Dummheit, mit jeder Unüberlegtheit von Fußgängern.“ (Code-Nr. 1, weiblich, 50 Jahre, ID29)

„Das dann vorausschauender gefahren wird in Situationen (...). Das die Geschwindigkeiten entsprechend angepasst werden.“ (Code-Nr. 1, männlich 73 Jahre, ID35)

„Ich würde sagen, sie würden dann eher defensiv und vorsichtig fahren und würden sehr rücksichtsvoll gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern wahrscheinlich sein.“ (Code-Nr. 2, männlich, 40 Jahre, ID26)

---

### **Erhöhen der Auffälligkeit und Kommunikation**

Vier Interview-Teilnehmende erwarten eine *Kennzeichnung* von hochautomatisierten Pkw, die auf den automatisierten Fahrmodus des Pkws hinweist (Code-Nr. 1, Häufigkeit des Codes = 4).

Des Weiteren wird einem hochautomatisierten Pkw die Fähigkeit zugeschrieben, *Signale* an außenstehende Verkehrsteilnehmende zu senden (Code-Nr. 2, Häufigkeit = 3), bspw. um eine sichere Straßenquerung für zu Fuß Gehende zu signalisieren.

---

Ausgewählte Zitate der Teilnehmenden zum mentalen Modell: **Erhöhen der Auffälligkeit und Kommunikation**

---

„Und es sollte möglicherweise ein Hinweis haben, dass es autonomes Fahren ist. Das fände ich, glaube ich, sinnvoll. Also hinten auf der (...) Heckscheibe zum Beispiel. So wie bei Fahranfängern auch darauf hingewiesen wird, dass es ein Fahranfänger.“ (Code-Nr. 1, weiblich, 71 Jahre, ID19)

„Das erwarte ich halt von so einem Auto. Ja, wie so eine Rückmeldung. Ich meine bei Fahrzeug, wo jemand drin ist, macht man das ja auch normalerweise. Oder auch (...) wenn man sieht, dass die Leute sich nicht trauen, [gibt] man manchmal auch ein Handzeichen.“ (Code-Nr. 2, männlich, 55 Jahre, ID36)

---

### **Systemlimitationen**

Im Gegensatz zu den oben beschriebenen erwarteten Fähigkeiten von hochautomatisierten Pkw, werden auch Systemlimitationen von den Interview-Teilnehmenden genannt. Am häufigsten wird die *Kommunikation* zwischen hochautomatisierten Pkw und zu Fuß gehenden Personen thematisiert (Code-Nr. 1, Häufigkeit des Codes = 10). Es werden fehlende Kontaktmöglichkeiten zu einer fahrenden Person genannt und der damit verbundene Wegfall einer Abstimmung zwischen Menschen bei der Straßenquerung.

Zudem werden Limitationen hinsichtlich der *Wahrnehmung und Interpretation der Fahrumgebung* genannt (Code-Nr. 2, Häufigkeit = 9). Exemplarisch wird die eingeschränkte Wahrnehmung von zu Fuß Gehenden zwischen geparkten Fahrzeugen am Fahrstreifenrand durch hochautomatisierte Pkw genannt. Auch werden einem hochautomatisierten Pkw Limitationen im Hinblick auf die Interpretation komplizierter Verkehrssituationen zugeschrieben, insbesondere bei Situationen mit vielen Verkehrsteilnehmenden.

---

Weiterhin wird ausgeführt, dass ein hochautomatisierter Pkw eine *vorgeschriebene Programmierung* ausführt, die bei Verkehrssituationen mit informellen Regelungen des Straßenverkehrs an Grenzen stößt (Code-Nr. 3, Häufigkeit = 3)

---

Ausgewählte Zitate der Teilnehmenden zum mentalen Modell: **Systemlimitationen**

---

„Die Situation [die ich] am Anfang beschrieben habe, überhaupt nicht mehr existent wäre, weil ich ja auch ganz viel über nonverbale Kommunikation gesprochen habe und das natürlich in dem Moment definitiv nicht mehr möglich ist.“ (Code-Nr. 1, weiblich, 36 Jahre, ID15)

„Das Auto kann hier nur reagieren auf das, was es im Moment wahrnimmt. Es kann aber nicht Situationen sich vorstellen oder (...) voraussehend denken. Das kann es nicht.“ (Code-Nr. 2, weiblich, 68 Jahre, ID 31)

„Bei diese[m] automatisierten Fahren; man nicht alle Situationen, die im Leben passieren, programmieren kann. Das haut einfach nicht hin. Man kann viele Standardsituation, einige Ausnahmesituationen auch, aber allein, wenn sie im Straßenverkehr sind und viel gefahren sind, zu jeder Tages- und Nachtzeit, da gibt es Situationen, die können sie gar nicht programmieren.“ (Code-Nr. 3, männlich 71 Jahre, ID13)

---

## Diskussion

Auf einer übergeordneten Ebene zeigen die Ergebnisse, dass von den Teilnehmenden eine vorausschauende, rücksichtsvolle und regelkonforme Ausführung der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe von hochautomatisierten Pkw gegenüber zu Fuß gehenden Personen im Straßenverkehr erwartet wird. Diese Erwartungshaltung wird ergänzt durch Aussagen zu einer vollständigen (d. h. alle Elemente der statischen und dynamischen Fahrumgebung erfassende) Überwachung der Fahrumgebung, einem daraus resultierenden tiefgehenden Situationsverständnis und der Fähigkeit zur Reaktion auf die Verkehrssituation durch das automatisierte System. Dieses mentale Modell wird von der Mehrheit der Interview-Teilnehmenden geteilt und spiegelt eine übergeordnete Erwartungshaltung des Stichprobenkollektivs an das hochautomatisierte Fahren in der Stadt wider. Empirische Befunde zeigen, dass die Erwartungshaltung des Menschen gegenüber dem automatisierten Fahren Einfluss auf die Akzeptanz der Technologie hat (Madigan et al., 2019; Nees, 2016) .

Das mentale Modell bezüglich der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw seitens der Interview-Teilnehmenden zeigt ein heterogenes Gesamtbild von Aussagen. Die Auswirkungen des Nichtvorhandenseins einer fahrenden Person im zugrundeliegenden Szenario des Interviews wird von den Interview-Teilnehmenden unterschiedlich interpretiert. Eine Gruppe von Interview-Teilnehmenden folgert, dass die Kommunikation mit dem hochautomatisierten Pkw eingeschränkt bzw. nicht möglich ist und leitet daraus ein die Interaktion vermeidendes Verhalten (Merten, 1977b) mit hochautomatisierten Pkw ab. Eine andere Gruppe von Interview-Teilnehmenden führt zumindest implizite Reaktionen des hochautomatisierten Pkws, bspw. durch Fahrmanöver, als Möglichkeit zur Interaktion mit dem Pkw an. Im Einklang mit dem Befund zum situativen Vertrauen in hochautomatisierte Pkw deutet dieses Ergebnis darauf hin, dass im untersuchten Stichprobenkollektiv Unklarheit bezüglich der zukünftigen Interaktion mit hochautomatisierten Pkw besteht. Zudem lassen die heterogenen Aussagen zur Initiation einer Interaktion als zu Fuß gehende Person mit einem hochautomatisierten Pkw (bspw. auf die Straße treten, Handsignale geben oder Körperachse am



Bordsteinrand rotieren) auf vielfältige Verhaltensweisen schließen, die zu Fuß Gehende in der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw zeigen werden.

Ein akkurates mentales Modell, das im Einklang mit den realen Fähigkeiten und Limitationen eines hochautomatisierten Pkw steht, ist die Grundlage für eine sichere Interaktion zwischen zu Fuß gehender Person und hochautomatisiertem Pkw. Weil keine Person aus dem Stichprobenkollektiv der Interview-Teilnehmenden bisher als zu Fuß gehende Person mit einem hochautomatisierten Pkw interagiert hat, ist eine fortlaufende Kalibrierung des mentalen Modells zu erwarten. Die Teilnehmenden führen eigene Erfahrungen (bspw. die Mitfahrt in einem hochautomatisierten Pkw) oder Informationen durch Medien als Begründung für ihre Erwartungshaltung gegenüber hochautomatisierten Pkw an. Beide Mechanismen werden in der Forschung als Einflussgrößen auf eine Verhaltensanpassung von Menschen (Weller & Schlag, 2004) und deren mentales Modell modelliert (Rudin-Brown & Noy, 2002). Dies lässt darauf schließen, dass die interviewten Personen bei einer Interaktion mit einem hochautomatisierten Pkw ihr mentales Modell anpassen und insbesondere im Hinblick auf die Interaktion mit dem System neue Erwartungshaltungen bilden.

### 3.3.4 Einflussgrößen auf die Bereitschaft zur Querung

Im dritten Teil des Interviews wurden Einflussgrößen auf die Bereitschaft zur Querung bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw im Untersuchungsszenario abgefragt. Die Einflussgrößen sind in Abbildung 3-3 nach der Häufigkeit der Nennung dargestellt.

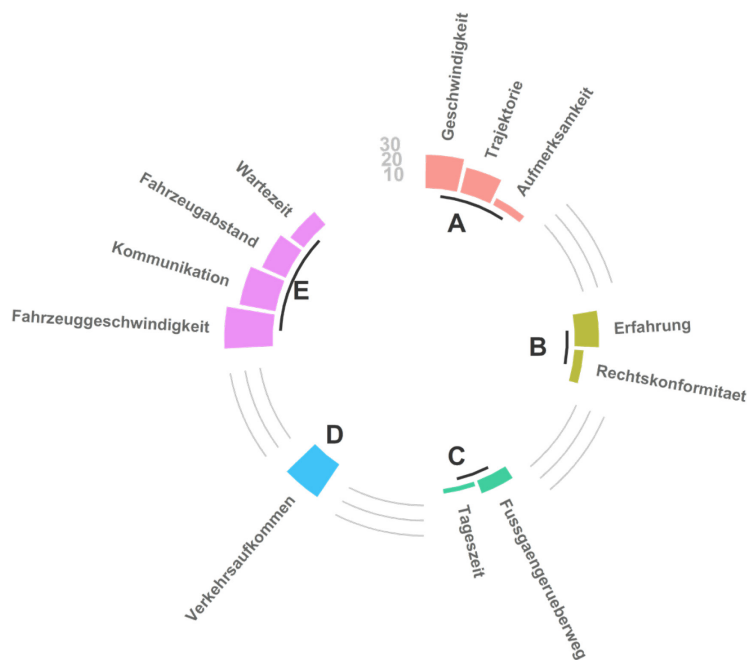


Abbildung 3-3: Einflussgrößen auf die Bereitschaft zur Querung im Szenario der Interviewstudie (N = 36). Kategorien A und B sind personenbezogene Einflussgrößen und Kategorien C bis E sind umweltbezogene Einflussgrößen. Es werden nur Einflussgrößen aufgeführt, die von mehr als zwei Teilnehmenden genannt wurden.

Legende: A = Zustand der Person, B = Charakteristik der Person, C = Physischer Kontext, D = Verkehrsbedingungen, E = Dynamische Faktoren

---

Am häufigsten nennen die Interview-Teilnehmenden die *Fahrzeuggeschwindigkeit* als Einflussgröße auf ihre Bereitschaft zur Querung (Häufigkeit = 32). Sie machen ihre Entscheidung zur Querung abhängig von der momentanen Geschwindigkeit des hochautomatisierten Pkws und eventuellen Geschwindigkeitsänderungen. Des Weiteren nennen 17 Teilnehmende den *Abstand* zwischen zu Fuß gehender Person und Fahrzeug als Einflussgröße. Dieser Befund zeigt den Einfluss dynamischer Faktoren (Kategorie E in Abbildung 3-3) als Einflussgrößen auf die Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden auf. Im Einklang mit der Theorie der Lückenakzeptanz (vgl. Theofilatos et al., 2021; Tian et al., 2022) nennen die Teilnehmenden am häufigsten Einflussgrößen, die durch die implizite Kommunikation von Pkw an außenstehende Verkehrsteilnehmende signalisiert werden. Die Ergebnisse von Beobachtungen zur Interaktion von Pkw-Fahrenden und zu Fuß Gehenden (vgl. Y. M. Lee et al., 2021) sowie automatisierten Fahrzeugen und zu Fuß Gehenden (vgl. Joisten, Freund & Abendroth, 2020) decken sich mit diesem Befund der Interviewstudie.

Als zweithäufigste Einflussgröße wird das *Verkehrsaufkommen* von 26 Interview-Teilnehmenden genannt. Ihre Bereitschaft zur Querung wird nicht nur von dem bildlich dargestellten hochautomatisierten Pkw und dem Bus beeinflusst, sondern auch von potentiellen folgenden Fahrzeugen. Untersuchungen zeigen, dass die Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden bei einem höheren Verkehrsaufkommen sinkt (Ishaque & Noland, 2008).

Mit der dritthäufigsten Anzahl an Nennungen wird die *Kommunikation* mit dem hochautomatisierten Pkw und Bus fahrende Person als Einflussgröße auf die Bereitschaft zur Querung adressiert (Häufigkeit = 24). Die Interview-Teilnehmenden führen aus, dass sowohl Signale des hochautomatisierten Pkw als auch eigene kommunikative Handlungen (Signale gerichtet an den hochautomatisierten Pkw) ihre Bereitschaft zur Querung beeinflussen. Darüber hinaus wird die Kommunikation mit der Bus-fahrenden Person genannt, der von elf Interview-Teilnehmenden adressiert wird, um ihre Intention zur Querung bzw. Mitfahrt zu signalisieren. Die Aussagen zur Kommunikation mit dem hochautomatisierten Pkw deuten erneut auf eine Unklarheit im Stichprobenkollektiv der Teilnehmenden hinsichtlich der Kommunikationsfähigkeiten eines hochautomatisierten Pkws hin. Gleichzeitig zeigt die Strategie einer Gruppe von Teilnehmenden mit der Bus fahrenden Person zu kommunizieren den Stellenwert von (expliziter) Kommunikation im sozialen Raum des Straßenverkehrs auf (vgl. Stanciu et al., 2018). Anzumerken ist, dass die intendierte Kommunikation der Teilnehmenden mit der Bus-fahrenden Person ein Artefakt des zugrundeliegenden Untersuchungsszenarios ist, weil die Teilnehmenden dahingehend instruiert wurden, die Bushaltestelle zu erreichen.

Weitere Einflussgrößen sind die *Geschwindigkeit* (Häufigkeit = 22) der zu Fuß gehenden Person und die gewählte *Trajektorie* bei der Querung (Häufigkeit = 17) sowie die *Erfahrung bei der Interaktion* mit hochautomatisierten Pkw (Häufigkeit = 16). Als weitere Einflussgrößen werden von weniger als einem Drittel der Teilnehmenden aber mehr als zwei Teilnehmenden die *Wartezeit* bei der Querung (Häufigkeit

---

= 11), das Vorhandensein eines *Fußgängerüberwegs* (Häufigkeit = 9), die *Rechtskonformität* (Häufigkeit = 6), die eigene *Aufmerksamkeit* (Häufigkeit = 5) bei der Querung und die *Tageszeit* (Häufigkeit = 3) als Einflussgrößen auf die Bereitschaft zur Querung genannt.

### 3.3.5 Diskussion der Methode und des eingesetzten Materials

Das wissenschaftliche Interview eignete sich für die Untersuchung der Zielstellungen, weil nicht direkt beobachtbare Ereignisse und Verhaltensweisen erfasst und ausführliche Informationen über den komplexen Sachverhalt der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw erhoben werden konnten (vgl. Döring & Bortz, 2016).

#### Einordnung der Stichprobe

Insgesamt wurden Interviews mit 36 Personen durchgeführt und somit die geforderte Größe der Stichprobe von 20 bis 30 Teilnehmenden für qualitative Interviews (Marshall et al., 2013) übertroffen. Das Stichprobenkollektiv der Teilnehmenden wurde nach vorab definierten Kriterien zusammengestellt, was sich bei der Kombination von standardisierten und nicht-standardisierten Erhebungsverfahren anbietet (Przyborski & Wohlrab-Sahr, 2021). Bei einer Gleichverteilung von weiblichen und männlichen Teilnehmenden konnte eine breite Verteilung des Alters erreicht werden. Nicht beachtet wurden Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren, über die diese Studie keine Aussagen trifft.

Die Ergebnisse einer Befragungsstudie mit  $N = 916$  Teilnehmenden aus Großbritannien zeigen, dass Männer gegenüber Frauen und jüngere gegenüber älteren Menschen eine höhere Akzeptanz gegenüber dem hochautomatisierten Fahren zeigen (Hulse et al., 2018). Aufgrund der geringen Stichprobengröße wurde jedoch in der Interviewstudie auf eine inferenzstatistische Auswertung nach soziodemografischen Variablen verzichtet. Gleichzeitig konnte aus der qualitativen Betrachtung der Daten kein eindeutiger Effekt des Alters und Geschlechts festgestellt werden. In diesem Sinne zeigten sowohl jüngere als auch ältere Interview-Teilnehmende Hinweise auf (fehlende) Akzeptanz von hochautomatisierten Pkw aus der Perspektive einer zu Fuß gehenden Person.

Die Einordnung des Stichprobenkollektivs nach der erhobenen Persönlichkeitseigenschaft der Selbstwirksamkeit ( $MW = 4,16$ ;  $SD = 0,55$ ) zeigt, dass die Eigenschaft unter den Teilnehmenden hoch ausgeprägt ist (Referenzwerte nach Beierlein et al. (2014) für eine hohe Selbstwirksamkeit:  $MW = 4,21$ ;  $SD = 0,60$ ). Die Teilnehmenden schätzen ihre eigene Kompetenz, auch in schwierigen Situationen, erfolgreich zu handeln als hoch ein. Aufgrund der geringen Streuung des Messwertes wurde auf eine differenzierte Betrachtung nach Untergruppen im Stichprobenkollektiv verzichtet.

Die Verkehrsmittelnutzung und Mobilität eines Menschen beeinflusst die Bewertung der Interaktion mit (hochautomatisierten) Pkw (vgl. Pyrialakou et al., 2020). Im Jahr 2019 wurden 3,1 % der gesamten zurückgelegten Personenkilometer (als Kennwert der Verkehrsleistung) in Deutschland mit dem Fahrrad und 73,6 % der gesamten zurückgelegten Personenkilometer mit Verkehrsmitteln des motorisierten

---

Individualverkehrs zurückgelegt (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2021). Die Angaben der Interview-Teilnehmenden zur Nutzung des Fahrrads für berufliche (38,9 %) und private Zwecke (80,6 %) lässt Rückschlüsse darauf zu, dass Fahrradfahrende im Stichprobenkollektiv überrepräsentiert sind und vorwiegend Personen interviewt wurden, die in Städten leben. Während diese Zusammenstellung des Stichprobenkollektivs zum zugrundeliegenden städtischen Untersuchungsszenario passt, sollte in Zukunft der Einfluss der Herkunft der Studienteilnehmenden stärker kontrolliert werden (bspw. bezogen auf die Raumtypologie in Deutschland nach dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2018)).

### **Diskussion des eingesetzten Materials im Interview**

Während des Interviews wurde den Teilnehmenden ein Bild einer städtischen Verkehrsumgebung präsentiert, das eine zweistreifige Fahrbahn mit zwei Fahrzeugen und drei zu Fuß gehenden Personen auf dem Gehweg zeigt (siehe Abbildung 3-1). Das eingesetzte Material stimulierte eine Verkehrssituation und leitete die Personen zum lauten Denken an (vgl. Portouli et al., 2019). Aufgrund der Vielfalt der Möglichkeiten einer Interaktionsumgebung zwischen zu Fuß Gehenden und (hochautomatisiertem) Pkw, ist die Standardisierung der Verkehrssituation vorteilhaft, um Effekte der Verkehrsinfrastruktur auf die geäußerten intendierten Verhaltensweisen einzugrenzen (vgl. Madigan et al., 2019). Demnach begründen die Statik und Darstellungsweise des Bildes auch Einflüsse des eingesetzten Materials auf die Ergebnisse des Interviews. Daher sollten insbesondere die identifizierten Einflussgrößen zur Bereitschaft der Querung nur in Bezug auf das zugrundeliegende Untersuchungsszenario interpretiert werden.

### **Diskussion des Vorgehens bei der Auswertung**

Bei der Auswertung der erhobenen Daten der Interviewstudie wurde auf etablierte Methoden der qualitativen Forschung zurückgegriffen (Mayring, 2014). Dies beinhaltete auch die Transkription der Daten und die Veröffentlichung der Transkripte (siehe Verzeichnis der Datensätze), was zur Reliabilität der Studie im Sinn der Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse beiträgt (Przyborski & Wohlrab-Sahr, 2021).

Bei der Codierung der Transkripte wurde auf eine gemischte Prozedur aus induktiver und deduktiver Vorgehensweise zurückgegriffen (vgl. Mayring, 2014). Damit konnten Vorteile sowohl des zusammenfassenden als auch des strukturierenden Ansatzes in der qualitativen Forschung vereint werden und gleichzeitig auf existierende Erkenntnisse zur Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw zurückgegriffen und erweitert werden. Die Codierung der Daten erfolgte nur durch den Autor dieser Arbeit und sind damit nicht unabhängig von einzelnen Forschenden. In Zukunft sollten mehrere Personen die Transkripte codieren (vgl. Joisten, Niessen & Abendroth, 2021), um die Objektivität des Vorgehens bei der Auswertung zu erhöhen (Armstrong et al., 1997; McDonald et al., 2019).

### 3.4 Fazit der Interviewstudie

Um ein tiefergehendes Verständnis von Verhaltensanpassungen zu Fuß gehender Personen bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw zu erlangen, wurden halb-strukturierte Interviews mit 36 Personen durchgeführt. Als zentraler Beitrag zu dieser Arbeit wurden zum einen Einflussgrößen auf das Vertrauen in sowie das mentale Modell bezüglich hochautomatisierter Pkw und zum anderen Einflussgrößen auf die Bereitschaft zur Querung vor hochautomatisierten Pkw identifiziert. Der gewählte wissenschaftstheoretische Ansatz ergänzt qualitative Studien zur Interaktion von zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Fahrzeugen (Botello et al., 2019; Y. Liu et al., 2020; Rahman et al., 2021). Des Weiteren wird die angrenzende Forschung zur Interaktion zwischen (mit)fahrenden Personen und (hoch-)automatisierten Fahrzeugen (Hilgarter & Granig, 2020; Nordhoff et al., 2019) durch die Perspektive von zu Fuß gehenden Personen ergänzt.

#### Die zentralen Beiträge der Interviewstudie werden im Folgenden zusammengefasst:

- Die Teilnehmenden berichten eine Abhängigkeit des (initial erlernten) **Vertrauens** von der **Erfahrung in der Interaktion** und geben an, mit zunehmender Erfahrung bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw mehr Vertrauen aufzubauen.
- Der **hochautomatisierte Fahrmodus** wirkt sich nicht eindeutig auf das (situative) **Vertrauen** und die Bereitschaft zur Querung der Teilnehmenden aus. Auswirkungen werden hinsichtlich der expliziten Kommunikation identifiziert (bspw. sinkendes Vertrauen aufgrund des Wegfalls der Handgesten von Fahrenden), nicht jedoch hinsichtlich der impliziten Kommunikation (bspw. aufgrund der Signale aus Fahrmanövern) und den damit verbundenen Entscheidungsheuristiken der Lückenakzeptanz bei der Interaktion mit Pkw.
- Das erhobene **mentale Modell** der Interview-Teilnehmenden deckt sich nur zum Teil mit dem **konzeptuellen Modell** der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe eines hochautomatisierten Pkw. Das mentale Modell der Teilnehmenden ist unvollständig in Hinblick auf die Fähigkeiten zur Kommunikation zwischen zu Fuß gehenden Personen und hochautomatisierten Pkw.
- Das **mentale Modell** der Interview-Teilnehmenden ist **instabil**. Die Aussagen der Interview-Teilnehmenden deuten darauf hin, dass sich das mentale Modell mit zunehmender **Interaktionserfahrung** mit hochautomatisierten Pkw und mit zunehmendem Verständnis der Interaktion mit dem automatisierten System entwickeln wird.

## 4 Empirisches Untersuchungsmodell und Hypothesen

In Kapitel 4.1 wird das *empirische Untersuchungsmodell* zum kontrollierten Feldtest und in Kapitel 4.2 werden die darin enthaltenen *Hypothesen* dargelegt. Das empirische Untersuchungsmodell und die Hypothesen werden aus dem Stand der Forschung in Kapitel 2 und der Interviewstudie in Kapitel 3 abgeleitet und bilden die Grundlage für den anschließenden kontrollierten Feldtest in Kapitel 5.

### 4.1 Empirisches Untersuchungsmodell

Das deskriptive Arbeitsmodell zu den Forschungslücken und Forschungsfragen dieser Arbeit (siehe Kapitel 2.5.3) ist grundlegend für das empirische Untersuchungsmodell, das darüberhinausgehend mit den Erkenntnissen der Interviewstudie zu einem explanativen Modell zusammengeführt wird. Ziel des empirischen Untersuchungsmodells (siehe Abbildung 4-1) ist es, zu erklären, wie die Variablen (bzw. Komponenten) des Modells miteinander interagieren (vgl. Winter, 2014). Die dargelegten Einflüsse bereiten die Ableitung von Hypothesen und die empirische Untersuchung im kontrollierten Feldtest vor.

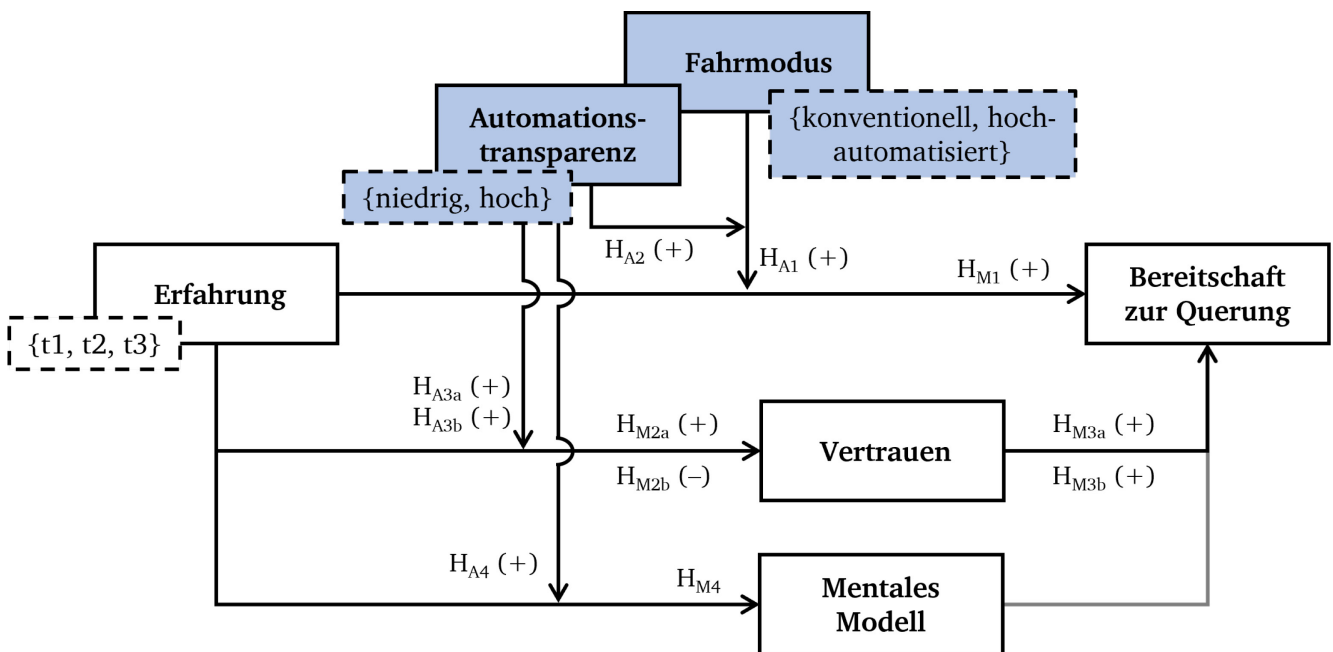


Abbildung 4-1: Empirisches Untersuchungsmodell mit Hypothesen (H). Die Ausprägungen der unabhängigen Variablen sind in Kästen mit gestricheltem Rand dargestellt. Die postulierte Richtung des Effekts der Zusammenhangshypothesen (+: Zunahme; -: Abnahme) sind dargelegt. Weiße Kästen symbolisieren den Fragenkomplex Mensch (M), bezugnehmend auf Forschungsfragen 1a bis 1c und 2. Blaue Kästen symbolisieren den Fragenkomplex Automation (A), bezugnehmend auf Forschungsfragen 3a bis 3c.

Die Komponenten des empirischen Untersuchungsmodells sind dem Subsystem Mensch als zu Fuß gehende Person und dem Subsystem Pkw zugeordnet sowie nach unabhängigen und abhängigen Variablen gegliedert. Die untere Hälfte des Modells postuliert einen kausalen Einfluss der unabhängigen Variable *Erfahrung* auf die abhängigen Variablen *Vertrauen*, *mentales Modell* und *Bereitschaft zur Querung*. Des Weiteren wird ein kausaler Einfluss der Variable *Vertrauen* von zu Fuß Gehenden auf deren *Bereitschaft zur Querung* bei der Interaktion mit Pkw dargestellt. Die obere Hälfte des Modells

---

bildet den moderierenden Einfluss der Automatisierung des Subsystems Pkw auf das Subsystem Mensch ab. Die unabhängigen Variablen *Fahrmodus* und *Automationstransparenz* als Gestaltungsdimensionen von hochautomatisierten Pkw werden als Einflüsse auf die Interaktion der Komponenten im Subsystem Mensch modelliert. Die auf Theorie und Empirie gestützte Herleitung der oben beschriebenen kausalen Einflüsse zwischen den Komponenten des Modells erfolgt im folgenden Kapitel zu den Hypothesen.

## 4.2 Hypothesen

Die Hypothesen werden nach den Forschungsfragen in den Komplex Mensch (M) und Automation (A) gegliedert.

### **Hypothesen zum Fragenkomplex Mensch (bezugnehmend auf Forschungsfragen 1a bis 1c und 2)**

Die Forschungsfragen 1a bis 1c und 2 adressieren den Effekt der Erfahrung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw.

Für den Zusammenhang des Anstiegs von Erfahrung von zu Fuß gehenden Personen und der Bereitschaft zur Querung vor hochautomatisierten Pkw (Forschungsfrage 1a) zeigt eine empirische Laborstudie mit Messwiederholung, dass die Entscheidung zur Querung mit zunehmender Erfahrung früher getroffen wird, wenn die eMMS eines hochautomatisierten Pkws eine nachgebende Intention des Fahrzeugs kommuniziert (Faas, Kao & Baumann, 2020). Zudem steigt in einer VR-Laborstudie die Bereitschaft zur Querung mit einer steigenden Anzahl von Interaktion (ca. 72 insgesamt) mit einem hochautomatisierten Fahrzeug, wenn das hochautomatisierte Fahrzeug mit einer eMMS ausgestattet ist (Clercq et al., 2019). Die Befunde der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Interviewstudie (siehe Kapitel 3) deuten darauf hin, dass die vergangene Erfahrung mit hochautomatisierten Pkw eine Einflussgröße auf die Bereitschaft zur Querung ist. Die Studienlage und die Erkenntnisse der Interviewstudie führen zur *Hypothese M1*: Mit dem Anstieg der Erfahrung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw steigt die Bereitschaft zur Querung vor hochautomatisierten Pkw.

Studien zur Einstellung von zu Fuß Gehenden gegenüber hochautomatisierten Pkws zeigen, dass die wahrgenommene Sicherheit nach einer Interaktion zunimmt (P. Liu & Xu, 2020; Penmetsa et al., 2019; Pyrialakou et al., 2020). Eine Befragung in Großbritannien mit 925 Teilnehmenden legt offen, dass zu Fuß Gehende hochautomatisierte Fahrzeuge als sicherer als von Menschen gesteuerte Fahrzeuge einschätzen (Hulse et al., 2018). In Übereinstimmung mit diesen Erkenntnissen zeigt die durchgeführte Interviewstudie, dass Personen hochautomatisierte Fahrzeuge mit Vorteilen verbinden, die mit dem Ersatz des menschlichen Faktors in der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe begründet werden. Für die Entwicklung und Kalibrierung von Vertrauen in automatisierte Systeme wird einer direkten Interaktionserfahrung eine zentrale Rolle zugesprochen (J. D. Lee & See, 2004). Es konnte bereits eine Veränderung der Einstellung des Vertrauens von zu Fuß Gehenden in Abhängigkeit der

---

Interaktionserfahrung nachgewiesen werden (Faas et al., 2021; Kaleefathullah et al., 2022). Auch die Ergebnisse der durchgeführten Interviewstudie deuten darauf hin, dass das Vertrauen in hochautomatisierte Pkw mit zunehmender Erfahrung des Menschen in der Interaktion kalibriert wird, d. h. Vertrauen gestärkt und Misstrauen abgebaut wird. Einhergehend mit der Zunahme von dynamisch erlerntem Vertrauen in hochautomatisierte Pkw, könnten zu Fuß Gehende ihr initial erlerntes Vertrauen verändern und/oder kompensieren (vgl. J. D. Lee & Kolodge, 2020). Diese Erkenntnisse führen zu *Hypothese M2a* und *M2b*: Mit dem Anstieg der Erfahrung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw steigt das Vertrauen / sinkt das Misstrauen in hochautomatisierte Pkw.

Das Vertrauen, das in Folge der zunehmenden Erfahrung des Menschen mit der Technologie entsteht, kann in initial erlerntes und dynamisch erlerntes Vertrauen unterschieden werden (Hoff & Bashir, 2015). Die Einstellung des Vertrauens zu Fuß Gehender in hochautomatisierte Fahrzeuge ist ein Indikator für die Aufgeschlossenheit gegenüber der Technologie des automatisierten Fahrens (Deb, Strawderman, Carruth et al., 2017) und damit Voraussetzung für die Nutzung der Technologie (Ghazizadeh et al., 2012) bzw. die Interaktion zwischen Mensch und Automation (J. D. Lee & See, 2004). Diese Überlegungen führen zu den *Hypothesen M3a* und *M3b*, die zusammengefasst lauten: Je höher das (initiale / erlernte) Vertrauen von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw ist, desto höher ist die Bereitschaft zur Querung.

Nach der Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen passen Fahrzeugnutzende ihr (initiales) mentales Modell hinsichtlich der erlebten Fähigkeiten und Limitationen des Systems an (Beggiato et al., 2015; Forster et al., 2019). Ein Befund im Kontext der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw deutet darauf hin, dass Erfahrung das mentale Modell der zu Fuß Gehenden beeinflusst (H. Liu et al., 2021). Des Weiteren zeigen die Ergebnisse der Interviewstudie, dass das mentale Modell der interviewten Personen von hochautomatisierten Pkw mit eMMS ohne direkte Interaktionserfahrung individuell verschieden und instabil scheint. Mentale Modell entwickeln sich durch ein zunehmendes Verständnis über die Fähigkeiten und Limitationen eines automatisierten Systems (vgl. Krampell et al., 2020). Diesbezüglich zeigt die online Befragung von Tinga et al. (2021), dass das Verständnis von außenstehenden Verkehrsteilnehmenden über das Fahrverhalten von hochautomatisierten Fahrzeugen mit zunehmender Interaktionserfahrung steigt. Diese empirischen Befunde führen zu *Hypothese M4*: Mit dem Anstieg der Erfahrung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw verändert sich das mentale Modell bezüglich hochautomatisierter Pkw.

*Hypothese M4* postuliert eine Veränderung des initialen mentalen Modells von zu Fuß gehenden Personen in Bezug auf hochautomatisierte Pkw, d. h. die Veränderung des mentalen Modells steht im Vordergrund der Untersuchung und stellt eine Aussage für sich dar. Eine gerichtete Veränderung des mentalen Modells ist daher nicht Teil der Untersuchung dieser Dissertation.



---

Zusammengefasst lauten die Hypothesen M1 bis M4:

---

#### Hypothesen zum Fragenkomplex Mensch (M)

---

- H<sub>M1</sub> Mit dem Anstieg der *Erfahrung* von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw steigt die *Bereitschaft zur Querung* vor hochautomatisierten Pkw.
- H<sub>M2a</sub> Mit dem Anstieg der *Erfahrung* von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw steigt das *Vertrauen* in hochautomatisierte Pkw.
- H<sub>M2b</sub> Mit dem Anstieg der *Erfahrung* von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw sinkt das *Misstrauen* in hochautomatisierte Pkw.
- H<sub>M3a</sub> Je höher das *initiale Vertrauen* von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw ist, desto höher ist die *Bereitschaft zu Querung*.
- H<sub>M3b</sub> Je höher das *erlernte Vertrauen* von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw ist, desto höher ist die *Bereitschaft zur Querung*.
- H<sub>M4</sub> Mit dem Anstieg der *Erfahrung* von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw verändert sich das *mentale Modell* bezüglich hochautomatisierter Pkw.
- 

#### Hypothesen zum Fragenkomplex Automation (bezugnehmend auf Forschungsfragen 3a bis 3c)

Die Forschungsfragen 3a bis 3c adressieren den Effekt des Fahrmodus und der Automationstransparenz von hochautomatisierten Pkw als Einflussgrößen auf die Interaktion zwischen Mensch und Pkw.

Das Modell der Risiko-Homöostase von Wilde (1982) leistet einen theoretischen Erklärungsbeitrag für eine Anpassung der Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden in Abhängigkeit des Fahrmodus und der Automationstransparenz von hochautomatisierten Pkw. Wird die Interaktion mit hochautomatisierten Pkw im Vergleich zu konventionellen Pkw mit zunehmender Erfahrung mit einem geringeren (subjektiven) Risiko verbunden, dann kompensiert der Mensch dies, indem er seine Bereitschaft zur Querung entsprechend anpasst. Diese theoretische Überlegung und empirischen Befunde zu eMMS von hochautomatisierten Pkw (siehe Kapitel 2.2.4) begründen die *Hypothese A1*: Der Zusammenhang des Anstiegs von Erfahrung und einer höheren Bereitschaft zur Querung ist stärker für hochautomatisierte Pkw im Vergleich zu konventionellen Pkw.

Der Einfluss des Kommunikationsinhalts von eMMS hochautomatisierter Pkw auf das Verhalten von zu Fuß Gehenden bei der Straßenquerung konnte bereits empirisch nachgewiesen werden (vgl. Faas, Mathis & Baumann, 2020). Eine hohe Transparenz in der Kommunikation von hochautomatisierten Pkw trägt zum Verständnis gegenüber der Kooperationsfähigkeit des Pkw bei (Wilbrink et al., 2021), was zu einer höheren Bereitschaft zur Querung im Vergleich zu einer niedrigen Transparenz in der Kommunikation führen kann. Gleichzeitig gewöhnen sich zu Fuß Gehende an die Interaktion mit hochtransparenten automatisierten Pkw mit zunehmender Interaktionserfahrung (Colley et al., 2022) und erlernen dabei den Umgang mit hochautomatisierten Pkw mit eMMS (Hochman et al., 2020; Y. M. Lee et al., 2022). Dies führt zur Formulierung von *Hypothese A2*: Der Zusammenhang des Anstiegs von Erfahrung und einer höheren Bereitschaft zur Querung ist stärker für eine hohe Automationstransparenz im Vergleich zu einer niedrigen Automationstransparenz.

---

Durch die transparente Kommunikation über die eMMS eines hochautomatisierten Pkws werden, zusätzlich zu einer konsistenten Kommunikation über die dMMS des Pkw, Informationen über die Wahrnehmung und Kooperationsfähigkeit des hochautomatisierten Systems an außenstehende Verkehrsteilnehmende kommuniziert (vgl. Schieben et al., 2019), die sich in Folge dieser expliziten Kommunikation auf das Verhalten des hochautomatisierten Pkws verlassen können. Diese Argumentation begründet die *Hypothesen A3a* und *A3b*, die zusammengefasst lauten: Der Zusammenhang des Anstiegs von Erfahrung und einem höheren Vertrauen / geringeren Misstrauen ist stärker für eine hohe Automationstransparenz im Vergleich zu einer niedrigen Automationstransparenz.

Neben der Information über (vgl. Blömacher et al., 2020) und dem Training der Personen zur Nutzung des automatisierten Systems (vgl. Krampell et al., 2020) beeinflusst die Gestaltung der Interaktion zwischen Mensch und automatisiertem System die Entwicklung des mentalen Modells des Menschen (Seppelt & Victor, 2020). Durch eine hohe Transparenz des automatisierten Systems in der Interaktion können die wichtigsten Funktionalitäten (intentionales Modell) und darüber hinaus auch das Abbild des automatisierten Systems von der Umgebung (umweltbezogenes Modell) an interagierende Personen kommuniziert werden (Lyons, 2013). Folglich kann eine hohe Transparenz eines hochautomatisierten Pkw zu Fuß Gehende dabei unterstützen, ein Verständnis über die Fähigkeiten und Limitationen des hochautomatisierten Pkws aufzubauen. Demgegenüber werden die oben genannten Informationen bei einer niedrigen Automationstransparenz des Pkw nicht offengelegt und können deshalb nicht die Veränderung des mentalen Modells von zu Fuß Gehenden unterstützen. Aus dieser Argumentation wird auf *Hypothese A4* geschlossen: Der Zusammenhang des Anstiegs von Erfahrung und einem veränderten mentalen Modell ist stärker für eine hohe Automationstransparenz im Vergleich zu einer niedrigen Automationstransparenz.

Zusammengefasst lauten die Hypothesen A1 bis A4:

---

#### Hypothesen zum Fragenkomplex Automation (A)

---

- |                  |   |
|------------------|---|
| H <sub>A1</sub>  | Der Zusammenhang des Anstiegs von <i>Erfahrung</i> und einer höheren <i>Bereitschaft zur Querung</i> ist <u>stärker</u> für <i>hochautomatisierte Pkw</i> im Vergleich zu konventionellen Pkw.                              |
| H <sub>A2</sub>  | Der Zusammenhang des Anstiegs von <i>Erfahrung</i> und einer höheren <i>Bereitschaft zur Querung</i> ist <u>stärker</u> für eine <i>hohe Automationstransparenz</i> im Vergleich zu einer niedrigen Automationstransparenz. |
| H <sub>A3a</sub> | Der Zusammenhang des Anstiegs von <i>Erfahrung</i> und einem höheren <i>Vertrauen</i> ist <u>stärker</u> für eine <i>hohe Automationstransparenz</i> im Vergleich zu einer niedrigen Automationstransparenz.                |
| H <sub>A3b</sub> | Der Zusammenhang des Anstiegs von <i>Erfahrung</i> und einem geringeren <i>Misstrauen</i> ist <u>stärker</u> für eine <i>hohe Automationstransparenz</i> im Vergleich zu einer niedrigen Automationstransparenz.            |
| H <sub>A4</sub>  | Der Zusammenhang des Anstiegs von <i>Erfahrung</i> und einem veränderten <i>mentalen Modell</i> ist <u>stärker</u> für eine <i>hohe Automationstransparenz</i> im Vergleich zu einer niedrigen Automationstransparenz.      |
-

---

## 5 Kontrollierter Feldtest

---

Zur Prüfung der Hypothesen wurde eine quasi-experimentelle Studie mit Messwiederholungen im kontrollierten Feld durchgeführt. Ein positives Votum der Ethikkommission der Technischen Universität Darmstadt wurde eingeholt (Antrag EK 53/2021).

Auf einem abgesperrten Testgelände interagierten 37 Versuchspersonen an drei aufeinanderfolgenden Versuchstagen mit einem (hochautomatisierten) Pkw als Realfahrzeug mit Wizard-of-Oz (WoOz) Konzept. Neben der interaktionsbezogenen Variablen der Bereitschaft zur Querung wurden weitere subjektive sowie personenbezogene Daten mittels Fragebögen und einem Videoexperiment erhoben.

### 5.1 Methode und Material des kontrollierten Feldtests

#### 5.1.1 Auswahl der Versuchspersonen

Das Kollektiv der Versuchspersonen wurde nach quantitativen und qualitativen Kriterien bestimmt und ausgewählt. Das *quantitative Kriterium* der Stichprobengröße wurde mittels a-priori Teststärkeanalyse für das statistische Verfahren der gemischten ANOVA mit Messwiederholung ermittelt. Er wurden Annahmen zum Fehler 1. Art ( $\alpha = 0,05$ ), der Teststärke ( $1-\beta = 0,80$ ), der Effektgröße ( $\delta = 0,25$ ) und der Korrelation zwischen den Messwiederholungen ( $\rho = 0,5$ ) getroffen. Die Berechnung wurde mit dem Programm G\*Power (Faul et al., 2007) durchgeführt und ergab eine notwendige Stichprobengröße von 28 Versuchspersonen. Die zu erreichende Stichprobengröße wurde mit einer Reserve von 10 % kalkuliert und auf mindestens 31 Versuchspersonen festgelegt.

Als *qualitative Kriterien* zur Inklusion in die Stichprobe wurden das Alter und Geschlecht der Versuchspersonen herangezogen. Die in die Studie eingeschlossenen Versuchspersonen sollten bei einer annähernden Gleichverteilung nach dem Geschlecht in weibliche und männliche Versuchspersonen im Alter von 18 bis 35 Jahren sein. Personen über 35 Jahren wurden aufgrund der fundierten Forschungslage zu Alterseffekten bei der Straßenquerung von zu Fuß Gehenden aus der Studie ausgeschlossen (Dommes et al., 2014; Lobjois & Cavallo, 2007). Insbesondere wurde auch ein Einfluss des Alters auf die Interaktion von zu Fuß Gehenden mit automatisierten Fahrzeugen identifiziert (Dommes et al., 2021; Hensch et al., 2022; Joisten, Theobald et al., 2020). Unterschiede im Verhalten von zu Fuß gehenden Personen, die aus dem Geschlecht resultieren (Holland & Hill, 2007), wurden als konfundierende Variable erfasst. Des Weiteren wurden Personen mit perzeptuellen, kognitiven und motorischen Einschränkungen (bspw. Seh- oder Gehbehinderung) aus dem Kollektiv der Studie ausgeschlossen, weil diese Personen besondere Anforderungen an die Gestaltung der Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen stellen (Colley et al., 2019), die in einer gesonderten Untersuchung adressiert werden müssten.

Die *Akquise der Versuchspersonen* erfolgte über persönliche Ansprache, Online-Foren sowie Word-of-Mouth-Kommunikation. In einem Einladungsschreiben wurde der Untersuchungsgegenstand wie folgt beschrieben: „Wie sieht die Stadt der Zukunft aus? Diese Frage untersuchen wir in einer Studie zu geteilten Verkehrsräumen (Shared Spaces) zwischen Fußgänger/-innen und Autos. Während des Experiments interagieren Sie in der Rolle eines Fußgängers / einer Fußgängerin mit Autos mit neuartigen Anzeigekonzepten.“. Zum Zeitpunkt der Einladung wurden keine weiteren Inhalte zu dem Gegenstand oder den Zielen des kontrollierten Feldtests offengelegt. Demensprechend wurden keine Anforderungen an die Vorkenntnisse zum automatisierten Fahren an die Versuchspersonen gestellt, um den Untersuchungszweck nicht zu demaskieren und keine Möglichkeit zur Vorbereitung auf den Versuch zu geben. Das Einladungsschreiben enthielt weiterhin Informationen zum Ort, Zeitraum und -aufwand des kontrollierten Feldtests sowie zur Vergütung der Versuchspersonen. Des Weiteren wurde auf die Einhaltung des Hygiene- und Infektionsschutzkonzeptes der Technischen Universität Darmstadt (Version 1.10 vom 05.10.2021) aufgrund der COVID-19-Pandemie bei der Durchführung des kontrollierten Feldtests hingewiesen. Den Versuchspersonen wurde die Anonymität ihrer angegebenen Daten zugesichert.

### 5.1.2 Experimentelles Design und unabhängige Variablen

Zur Untersuchung des Einflusses von Erfahrung und Automationstransparenz auf die Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw wurde ein 2- bzw. 3-faktorielles gemischtes Design mit Messwiederholung angewendet (siehe Tabelle 5-1).

Tabelle 5-1: Experimentelles Design

Design	Unabhängige Variable (Anzahl Faktorstufen)	Ausprägung der Faktorstufen
Innersubjekt	Erfahrung (3) bzw. (4)	{t1, t2, t3} bzw. {t0, t1, t2, t3}
	Fahrmodus (2)	{konventionell, hochautomatisiert}
Zwischensubjekt	Automationstransparenz (2)	{gering, hoch}

#### **Erfahrung**

Die Erfahrung der Versuchspersonen wurde als 3-stufige bzw. 4-stufige Innersubjektvariable mit diskreten Faktorstufen {t1, t2, t3} bzw. {t0, t1, t2, t3} operationalisiert. Die Versuchspersonen interagierten innerhalb von fünf Wochentagen an drei Versuchstagen in äquidistantem Abstand mit dem hochautomatisierten Pkw. Die Messung t0 wurde nur am ersten Versuchstag vor der Interaktion durchgeführt, die Messung t1 nach der ersten Interaktion mit dem hochautomatisierten Pkw.

Bisher wurde nur eine quasi-experimentelle Studie mit Messwiederholung zur Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw als Laborstudie mittels Videoaufnahmen mit drei Messwiederholungen durchgeführt (Faas, Kao & Baumann, 2020). Um die Vergleichbarkeit mit dieser

---

Studie zu gewährleisten wurde ebenfalls die Anzahl von drei Messzeitpunkten gewählt. Die theoretische Begründung für die Wahl von drei Messzeitpunkten ist, dass nach dem Potenzgesetz der Übung (Newell & Rosenbloom, 1981) die größten Effekte einer Verhaltensanpassung innerhalb der ersten Interaktionen mit dem automatisierten System zu vermuten sind (vgl. Beggiato et al., 2015; Clercq et al., 2019; Forster et al., 2019). Mit der Auswahl von drei Messzeitpunkten innerhalb von fünf Wochentagen werden dementsprechend kurzfristige Verhaltensanpassungen untersucht (vgl. Manser et al., 2013).

### **Fahrmodus**

Der Fahrmodus des Pkw wurde als 2-stufige Innersubjektvariable mit den Faktorstufen {konventionell, hochautomatisiert} operationalisiert. Neben dem hochautomatisierten Fahrmodus bildete der konventionelle Fahrmodus eine Referenz für die Bereitschaft zur Querung der Versuchspersonen.

### **Automationstransparenz**

Die Automationstransparenz wurde als 2-stufige Zwischensubjektvariable mit den Faktorstufen {niedrig, hoch} operationalisiert. Das Design einer Zwischensubjektvariable wurde gewählt, um die Konfundierung der Messungen durch das Erleben beider Ausprägungen der Automationstransparenz zu verringern und daraus resultierende Reihenfolgeeffekte zu verhindern (vgl. Poulton, 1973).

Die Ausprägungen der niedrigen und hohen Automationstransparenz repräsentieren zwei differenzierte Pole des Informationsinhalts einer eMMS von hochautomatisierten Pkw. Entsprechend der Klassifizierung der Informationskategorien von eMMS nach Schieben et al. (2019) wurden Kategorie A (Automationsstatus) als geringe Ausprägung der Automationstransparenz und die Kombination der Kategorien A, C, und D (Automationsstatus, Wahrnehmung der Fahrumgebung, Kooperationsfähigkeit) als hohe Ausprägung der Automationstransparenz gewählt. Informationen der Kategorie B (nächste Fahrmanöver) wurden nicht über die eMMS übertragen, sondern über die dMMS des Pkw durch die Fahrmanöver (insb. Abbremsen und Anfahren), die durch das Untersuchungsszenario des kontrollierten Feldtests determiniert waren (siehe Kapitel 5.1.6).

### **5.1.3 Abhängige Variablen und Messgrößen**

Die abhängigen Variablen werden in Reihenfolge der Hypothesen aufgelistet und beschrieben.

#### **Bereitschaft zur Querung (Hypothesen M1, M3a, M3b, A1 und A2)**

Die Entscheidung der Versuchsperson vor dem hochautomatisierten Pkw die Straße zu queren wurde in dieser Studie mittels des Indikators der Bereitschaft zur Querung gemessen (vgl. Ackermans et al., 2020; Clercq et al., 2019). Zur Messung der Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden vor Fahrzeugen wurden verschiedene Messgrößen (Feldstein & Dyszak, 2020) und Messmethoden (Theobald et al., 2022) vorgeschlagen. In Anlehnung an das Experiment von Clercq et al. (2019) in einer VR-

---

Versuchsumgebung wurde die Bereitschaft zur Querung als kontinuierliches Signal operationalisiert und gemessen. Der Vorteil in dieser Methode liegt darin, dass die Entscheidung der Versuchspersonen vor dem Pkw zu queren oder nicht zu queren nicht als singuläres Event, sondern kontinuierlich erfasst werden und damit einen Entscheidungsprozess, in Abhängigkeit des Fahrverhaltens, abbilden kann. Dazu kam ein Messsystem zum Einsatz, das ein von der Versuchsperson ausgelöstes Signal (als Indikator der Bereitschaft zur Querung einer Versuchsperson) in Relation zur Distanz des Pkw setzt. Das Messsystems (siehe Kapitel 5.1.5) sowie das Vorgehen bei der Auswertung der Daten (siehe Kapitel 5.1.10) sind im Folgendem beschrieben.

### **Vertrauen (Hypothesen M2a, M2b, A3a und A3b)**

Zur Messung des Vertrauens in den hochautomatisierten Pkw wurde der Fragebogen nach Jian et al. (2000) in der deutschen Übersetzung (Pöhler et al., 2016) eingesetzt. Die deutsche Version des Fragebogens besteht aus den Subskalen *Vertrauen* und *Misstrauen*, welche zwei unabhängige Dimensionen des Vertrauens abbilden. Zur Untersuchung der Interaktion von zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw wurde das Befragungsinstrument bereits eingesetzt (Bonnevot et al., 2021; Faas, Kao & Baumann, 2020) und bildet derzeit einen Standard zur Erhebung des Vertrauens nach der Interaktion mit hochautomatisierten Fahrzeugen (Frison et al., 2020).

Die Versuchspersonen bewerteten ihr Vertrauen und Misstrauen in den hochautomatisierten Pkw anhand der zwölf Items des Fragebogens auf einer 7-stufigen Likert-Skala mit den Polen 1 („trifft gar nicht zu“) bis 7 („trifft völlig zu“), die in zufälliger Reihenfolge dargeboten wurden.

### **Mentales Modell (Hypothesen M4 und A4)**

Zur Erhebung des mentalen Modells der Versuchspersonen von einem hochautomatisierten Pkw wurde ein Fragebogen entwickelt (vgl. dazu auch Joisten, Schwindt et al., 2022). Ziel des Instruments war es, Aussagen zum konzeptuellen Modell über die Ausführung der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe darzubieten, die von den Versuchspersonen als zutreffend oder nichtzutreffend bewertet werden. Um Kategorien für die Entwicklung des Fragebogens abzuleiten, wurde die Definition der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe nach SAE International (2021) verwendet. In Anlehnung an das Vorgehen von Beggiato und Kreams (2013) zur Entwicklung eines Fragebogens zur Erhebung des mentalen Modells von ACC-Nutzenden wurden in einem ersten Schritt 97 Aussagen über die Fähigkeiten und Limitationen eines hochautomatisierten Pkws in einem Workshop gesammelt. An dem Workshop nahmen der Autor dieser Dissertation und drei wissenschaftliche Mitarbeiterinnen der Forschungsgruppe Mensch-Maschine-Interaktion & Mobilität der Technischen Universität Darmstadt mit mindestens einem Jahr Berufserfahrung teil. Nach einer Clusterung und Bewertung der Relevanz der Aussagen wurden schließlich 20 Aussagen in die Kategorien der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe eingeordnet. Diese Aussagen wurden in einem Fragebogen zusammengefasst (siehe Tabelle 5-2).

Die 20 Fragebogen-Items wurden in zufälliger Reihenfolge präsentiert und auf einer 7-stufigen Rating-Skala von 1 („trifft überhaupt nicht zu“) bis 7 („trifft voll und ganz zu“) bewertet.

Tabelle 5-2: Erhebungsinstrument zum mentalen Modell der Versuchspersonen von einem hochautomatisierten Pkw

Kategorie der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe nach SAE International (2021)	Item (Nr. / Aussage) <i>Das automatisierte System ...</i>
Steuern der Fahrzeugquerbewegung (1)	(1) ... lenkt automatisch. (*)
Steuern der Fahrzeuglängsbewegung (2) - (3)	(2) ... passt seine Geschwindigkeit automatisch an. (3) ... kann eine Notbremsung durchführen. (*)
Überwachen der Fahrumgebung (4) - (10)	(4) ... kann verschiedene Typen von Fußgänger/-innen unterscheiden. (5) ... kann Fußgänger/-innen von anderen Verkehrsteilnehmenden unterscheiden. (6) ... erkennt statische Objekte in der Fahrumgebung. (7) ... erkennt die Blickrichtung von Fußgänger/-innen. (8) ... entscheidet Fußgänger/-innen queren zu lassen. (9) ... entscheidet Fußgänger/-innen nicht queren zu lassen. (10) ... hält sich an der Straßenverkehrsordnung.
Ausführung von Reaktionen (11) - (13)	(11) ... reagiert auf querende Fußgänger/-innen auf der Fahrbahn. (12) ... kann die Absicht von Fußgänger/-innen erkennen und darauf reagieren. (13) ... kann im Fall eines Fehlers am Straßenrand stehen bleiben. (*)
Planen von Manövern (14)	(14) ... wählt ein passendes Fahrmanöver aufgrund der Fahrumgebung aus.
Erhöhen der Auffälligkeit (15)	(15) ... kann seinen Verzicht auf Vorrang mit Fußgänger/-innen kommunizieren.
Limitationen des Systems (16) - (20)	(16) ... kann verdeckte Fußgänger/-innen wahrnehmen. (17) ... erkennt, wenn es eine Situation nicht meistern kann. (18) ... kann Emotionen von Fußgänger/-innen interpretieren. (19) ... funktioniert bei allen Wetterbedingungen. (20) ... kann die Fahraufgabe immer von Anfang bis Ende übernehmen. (*)

Anmerkung. (\*) basierend auf Richardson et al. (2019)

### Post-hoc Interview-Fragen

Weitere qualitative Daten zum Vertrauen in und zur Interaktion mit hochautomatisierten Pkw wurden in Form eines halb-strukturierten Interviews am Ende jedes Versuchstages erhoben. Das Format der Interviews wurde gewählt, um ein tiefergehendes Verständnis hinsichtlich der abhängigen Variablen zu gewinnen und den Versuchspersonen die Möglichkeit von offenen Antwortformaten zu bieten. Die Fragen lauteten:

1. „Würden Sie als Fußgänger/-in einem automatisierten Pkw mit externer Anzeige im Straßenverkehr vertrauen?“
2. „Versetzen Sie sich bitte gedanklich in das Szenario der Querung einer zweispurigen Straße mit wenig Verkehr. Es kommt Ihnen ein Pkw entgegen. Würde es für Sie einen Unterschied machen, ob der Pkw von einem Menschen gesteuert wird oder dieser ein automatisierter Pkw mit externer Anzeige ist?“

---

Weitere Fragen wurden am Ende des dritten Versuchstages zur gewonnenen Erfahrung im Umgang mit dem hochautomatisierten Pkw und den Versuchsbedingungen gestellt, um die Manipulation der Versuchspersonen zu prüfen.

3. „Bitte denken Sie an die Interaktion mit dem automatisierten Pkw mit externer Anzeige in der letzten Woche zurück. Wie haben Sie sich an die Interaktion mit dem automatisierten Pkw gewöhnt? Haben Sie sich an den Versuchstagen unterschiedlich verhalten?“
4. „War die Situation in den Versuchen eine reale Situation für Sie?“
5. „Haben Sie sich in den Versuchen so verhalten bzw. entschieden, wie Sie es im realen Leben auch getan hätten?“
6. „Haben Sie das Fahrzeug als automatisierten Pkw wahrgenommen?“

#### 5.1.4 Konfundierende Variablen

Zur Prüfung möglicher konfundierender Effekte auf die abhängigen Variablen wurden weitere Variablen in Form eines ex-ante Fragebogens und eines Videoexperiments erfasst. Der **Fragebogen** erfasste die soziodemographischen Daten zum Alter, Geschlecht und Wohnort der Versuchspersonen, Daten zur Mobilität sowie Verkehrsmittelnutzung und zu Persönlichkeitseigenschaften. Der *Pedestrian Behavior Questionnaire* (Deb, Strawderman, DuBien et al., 2017; Granié et al., 2013) wurde in der deutschen Version (PBQ-d; Joisten, Bier & Abendroth, 2022) eingesetzt, um das selbstberichtete Verhalten der Versuchspersonen bei der Straßenquerung zu erfassen. Das Messinstrument besteht aus den drei Faktoren (Verletzungen, Versehen und aggressives Verhalten), die voneinander unabhängige Verhaltensweisen von zu Fuß Gehenden bei der Straßenquerung abbilden.

Zur Kontrolle einer Konfundierung von Persönlichkeitseigenschaften der Versuchspersonen wurde die Kontrollüberzeugung sowie die Sensationssuche mittels standardisierter Fragebögen gemessen. Beide Variablen wurden als Einflussgrößen auf die Verhaltensanpassung von Fahrenden bei der Interaktion mit ACC bereits untersucht (Rudin-Brown & Parker, 2004) und als relevant für das Verhalten von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr eingestuft (Dinh, Vu et al., 2020; Rosenbloom, 2006).

Die Persönlichkeitseigenschaft der *Kontrollüberzeugung* wird in internale und externale Überzeugung unterschieden. Individuen mit ausgeprägter internaler Kontrollüberzeugung sind davon überzeugt, dass sie Ereignisse kontrollieren können und erleben diese als Konsequenz des eigenen Verhaltens (Kovaleva et al., 2014). Demgegenüber beschreibt die externale Kontrollüberzeugung das Ausmaß, in dem Individuen davon überzeugt sind, keinen Einfluss auf Ereignisse zu haben. Beide Konstrukte wurden mit der IE-4 Skala nach Kovaleva et al. (2014) erhoben. Als weitere Persönlichkeitseigenschaft wurde die *Sensationssuche* zur Beschreibung des Risikoverhaltens der Versuchspersonen erhoben. Mittels der deutschen Version des Arnett Inventory of Sensation Seeking (AISS-d) von Roth und Mayerhofer (2003) wurde die Tendenz zur Erlebnissuche und Risikomotivation erfasst.



In einem Videoexperiment wurde die **Lückenakzeptanz** der Versuchspersonen erhoben, um die Verhaltensintention der Versuchspersonen bei der Querung von Straßen zu erheben und zu kontrollieren. Die Messgröße ist ein aufgabenspezifischer Kennwert für die Entscheidung der Versuchspersonen eine Straße mit einer definierten Lücke zwischen zwei Fahrzeugen zu queren oder nicht zu queren (vgl. Lobjois & Cavallo, 2007; Oxley et al., 2005). In Kapitel 5.1.5 wird das verwendete Material und in Kapitel 5.1.7 wird die Aufgabe der Versuchspersonen im Videoexperiment beschrieben.

### 5.1.5 Material

#### Wizard-of-Oz (WoOz) Pkw

Die Versuchspersonen interagierten mit einem Mercedes-Benz E220d 4Matic T-Modell All-Terrain der Baureihe 213 mit Automatikgetriebe und abgeschalteter Start-Stopp-Automatik, der für beide Ausprägungen des Fahrmodus verwendet wurde (siehe Abbildung 5-1).

Ein WoOz-Konzept wurde verwendet, um den Versuchspersonen zu suggerieren, dass sie mit einem hochautomatisierten Pkw ohne fahrende Person am Steuer interagierten (vgl. Fuest et al., 2019; Fuest et al., 2020). Dazu wurde der Fahrer des Pkws in einem sogenannten Ghost-Driver-Sitzkostüm (Joisten et al., 2019) versteckt, das einem Autositz gleicht (siehe Abbildung 5-1). Die dynamische Fahrzeugführungsaufgabe wurde zu jedem Zeitpunkt vom Fahrer des Pkw ausgeführt, wobei die Handbewegungen zur Steuerung des Fahrzeugs ausschließlich am unteren Teil des Lenkrads erfolgten. Ein schwarzes Stofftuch verdeckte die Arme und Hände des Fahrers, der zusätzlich schwarze Handschuhe trug. Des Weiteren wurde eine getönte Folierung an den Scheiben der Fahrer- und Beifahrerseite des Fahrzeugs angebracht, um die Fahrerkabine zu verdunkeln.



Abbildung 5-1: Wizard-of-Oz Pkw. (1) Mercedes-Benz E220d 4Matic T-Modell All-Terrain in polarweiß (Länge: 4947 mm, Breite: 1861 mm, Höhe: 1497 mm). (2) Ghost-Driver-Sitzkostüm. (3) Wizard-of-Oz Fahrzeug mit eMMS vor einer Versuchsperson

Der WoOz-Ansatz zur Präsentation eines automatisierten Fahrzeugs ist in der Human Factors Forschung zur Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und automatisierten Fahrzeugen weit verbreitet (Fuest et al., 2020; Rodríguez Palmeiro et al., 2018). Gegenüber real fahrenden automatisierten Fahrzeugen (vgl. Bazilinskyy, Sakuma & Winter, 2021) sowie Konzepten mit Fernsteuerung (vgl. Rodríguez Palmeiro et al., 2018) liegen die Vorteile dieses Ansatzes in dem geringen Ressourcen- und Kostenaufwand. Darüber hinaus kann die Sicherheit durch die Ausführung der dynamischen Fahraufgabe durch den Menschen

während der Versuchsdurchführung kontrolliert werden. Die Methode des WoOz-Fahrzeugs erweist sich außerdem als reliabel zur Präsentation eines menschlichen Fahrverhaltens gegenüber anderen Verkehrsteilnehmenden (Fuest et al., 2020).

### eMMS

Zur Operationalisierung der Automationstransparenz wurde eine eMMS genutzt, die im Rahmen einer menschenzentrierten Gestaltung (Deutsches Institut für Normung e.V., 2020b) im Forschungsprojekt @CITY-AF entwickelt wurde (siehe Joisten, Müller & Abendroth, 2022).

Basierend auf dem Gestaltungsraum einer eMMS (siehe Anhang B), wurde ein LED-Lichtband aus vier Segmenten am Fahrzeugdach verwendet (siehe Abbildung 5-2). Lichtbasierte Signale von eMMS werden von Standardisierungsorganisationen vorgeschlagen (SAE International, 2019). Gleichmaßen weisen lichtbasierte eMMS eine hohe Konformität mit bereits genutzten Signalen von konventionellen eMMS an Fahrzeugen auf, wie bspw. der Bremsleuchte oder wie Fahrtrichtungsanzeigern (Faas, Kao & Baumann, 2020).

Die eMMS besteht aus vier Elementen, die an jeder Seite des Fahrzeugdaches montiert werden. Die eMMS Lichtsignale zeigen drei Informationen an (siehe Abbildung 5-2). Die Farbe der Lichtsignale wurde als Cyan gewählt (RGB-Farbraum = (0, 255, 255)), um Verwechslungen mit anderen genutzten Farben zur Kommunikation im Straßenverkehr vorzubeugen (Werner, 2018). Forschungen zur Farbe von eMMS Signalen zeigen, dass die Farbe Cyan geeignet ist, um automationsspezifische Signale an andere Verkehrsteilnehmende zu übertragen (Dey, Habibovic, Pflöging et al., 2020).

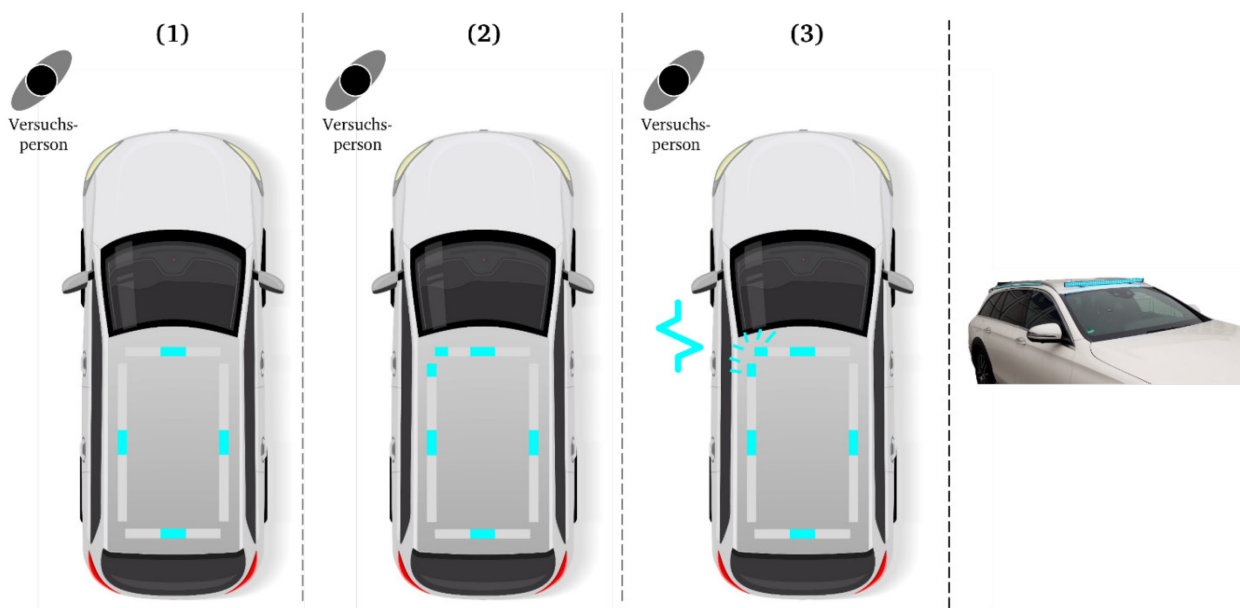


Abbildung 5-2: eMMS Konzepte im kontrollierten Feldtest. (1) Anzeige des Automationsstatus, (2) Anzeige der Wahrnehmung der Fahrumgebung, (3) Anzeige der Kooperationsfähigkeit - Intention zum Nachgeben

---

Die drei eMMS Konzepte werden im Folgenden beschrieben:

1. Anzeige des Automationsstatus: Für die Statusinformation leuchtet auf jeder Fahrzeugseite das zentrale Element des Lichtbandes (15 cm Breite und 5 cm Höhe), bestehend aus 10 LED, statisch und permanent.
2. Anzeige der Wahrnehmung der Fahrumgebung: Zusätzlich zur Anzeige des Automationsstatus wird die dynamische Information der Wahrnehmung der Versuchsperson durch den hochautomatisierten Pkw angezeigt. Dazu leuchtet das Lichtbandsegment an der Fahrzeugecke (bestehend aus jeweils 10 LED) auf, das den geringsten Abstand zur Versuchsperson hat.
3. Anzeige der Kooperationsfähigkeit - Intention zum Nachgeben: Zusätzlich zu den Anzeigen des Automationsstatus und der Wahrnehmung der Fahrumgebung wird die Intention zum Nachgeben des hochautomatisierten Pkws über ein Pulsieren der leuchtenden Lichtbandsegmente zur Wahrnehmung der Fahrumgebung mit 0,5 Hz realisiert (vgl. Faas, Mathis & Baumann, 2020).

Die eMMS wurde über eine Arduino programmiert und von einem Versuchsleiter bzw. einer Versuchsleiterin auf dem Rücksitz hinter dem Beifahrersitz des Pkw durch eine grafische Benutzeroberfläche gesteuert. Die mitfahrende Person auf dem Rücksitz war von außerhalb des Fahrzeugs nur eingeschränkt sichtbar und verhielt sich während der Versuche unauffällig.

### **Messsystem zur Bereitschaft der Querung**

Zur Messung der Bereitschaft zur Querung wurde ein im Rahmen einer Projektarbeit an der Technischen Universität Darmstadt entwickeltes Messsystem genutzt (Dong et al., 2019). Das Messsystem basiert auf Videoaufnahmen (vgl. Rodríguez Palmeiro et al., 2018), die aus dem Pkw gemacht werden, und einem Druckknopf (vgl. Ackermans et al., 2020; Clercq et al., 2019; Walker et al., 2019), der bei Betätigung durch die Versuchsperson ein Lichtsignal emittiert. Eine schematische Abbildung des Messsystems ist in Abbildung 5-3 dargestellt.

Eine Frontkamera (Kamera 1) filmt das Lichtsignal des Druckknopfes. Eine Kamera an der Seite des Pkw (Kamera 2) filmt die Überfahrt an einem statischen Marker auf dem Testfeld. Die Videoaufnahmen (mit 60 FPS) von Kamera 1 und Kamera 2 werden mittels des Programms OBS Studio (Version 25.0.8; 64 Bit) synchronisiert und mit einem Zeitstempel versehen. Gleichzeitig wird die Geschwindigkeit des Pkw mittels On-Board-Diagnose (OBD) ausgelesen.

Zur Bestimmung der Distanz zwischen Versuchsperson und Pkw werden Zeitstempel manuell aus den Videoaufnahmen ausgelesen. Mittels eines Skriptes, das mit dem Programm Matlab ausgeführt wird (siehe Anhang E für den genutzten Code), wird die Distanz zwischen Versuchsperson und Pkw bei einer Änderung des Lichtsignals ausgelesen. Dazu werden die Zeitstempel mit der zurückgelegten Distanz des Pkw (ermittelt aus den OBD Daten) synchronisiert.

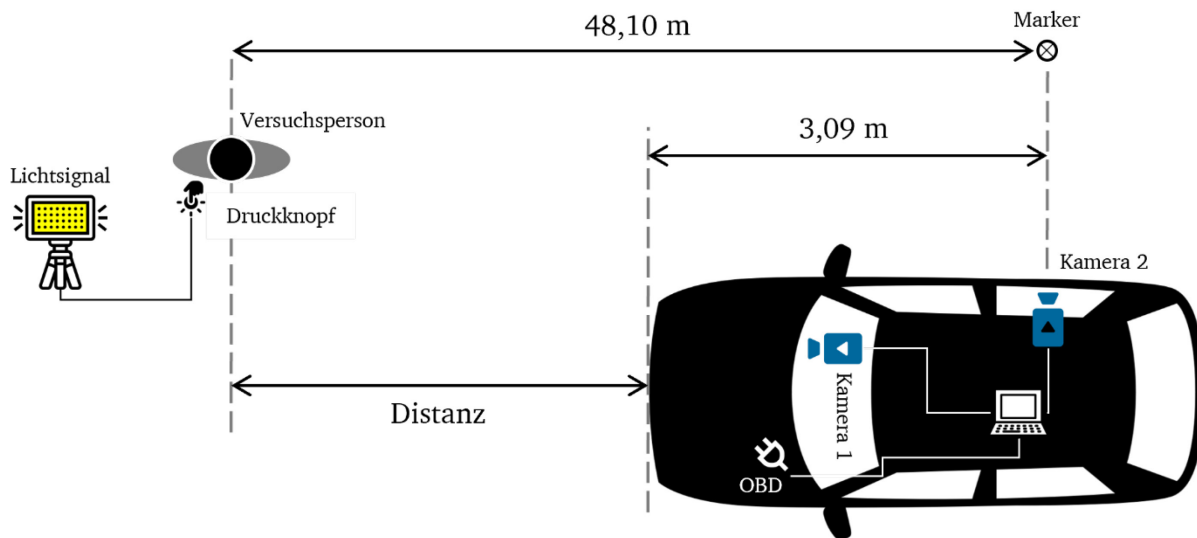


Abbildung 5-3: Schematische Darstellung des Messsystems zur Bestimmung der Distanz zwischen Versuchsperson und Pkw (OBD = On-Board-Diagnose)

Das Messsystem wurde in Vorversuchen getestet (Dong et al., 2019). Der Fehler der Messung wurde in den Vorversuchen auf 1,28 m bestimmt. Alternative Ansätze zur Bestimmung der Distanz zwischen Versuchsperson und Pkw sind der Einsatz von GPS oder anderen Systemen zur Distanzmessung. Aufgrund der Distanz zwischen Versuchsperson und Pkw wurde sich für die kosten- und ressourcengünstige Lösung mittels Videoaufnahme entschieden.

### Videos zur Lückenakzeptanz

Zur Erhebung der konfundierenden Variable der Lückenakzeptanz wurden zwölf Videos erstellt, in denen jeweils zwei Pkw in einem zeitlich konstanten Abstand von 3 s bis 8 s mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit von 35 km/h eine zweistreifige Fahrbahn entlangfahren (siehe Abbildung 5-4). Die Wahl der zeitlichen Lücken von 3 s, 4 s, 5 s, 6 s, 7 s und 8 s zwischen den beiden Pkw basieren auf empirischen Befunden zur Lückenakzeptanz von zu Fuß Gehenden (vgl. S. Schmidt & Färber, 2009).

Die Videos wurden im Programm Unity VR erstellt. Die Kameraposition aus der Ego-Perspektive der Versuchsperson war auf der Höhe von 1,76 m angeordnet. Der erste Pkw fuhr immer im konventionellen Fahrmodus und innerhalb der ersten 1,67 s des Videos aus dem Bild, sodass die Versuchspersonen nicht die Lücke vor dem ersten Fahrzeug wählen konnten (vgl. Subramanian et al., 2021). Der Fahrmodus des zweiten Pkw wurde permutiert, d. h. jeweils sechs Videos wurden mit konventionellem bzw. hochautomatisiertem Fahrmodus erstellt. Beim hochautomatisierten Fahrmodus zeigte die eMMS die Information zum Automationsstatus für die Gruppe der niedrigen Automationstransparenz und die Informationen zu dem Automationsstatus und der Wahrnehmung der Fahrumgebung für die Gruppe der hohen Automationstransparenz an. Die Anzeige zur Wahrnehmung der Fahrumgebung wurde in einem Abstand von 30 m bzw. einer TTA von ca. 3 s zum Standpunkt der Versuchsperson aktiviert. Die Videos wurden in einer Auflösung von 1920 x 1080 HD aufgenommen.

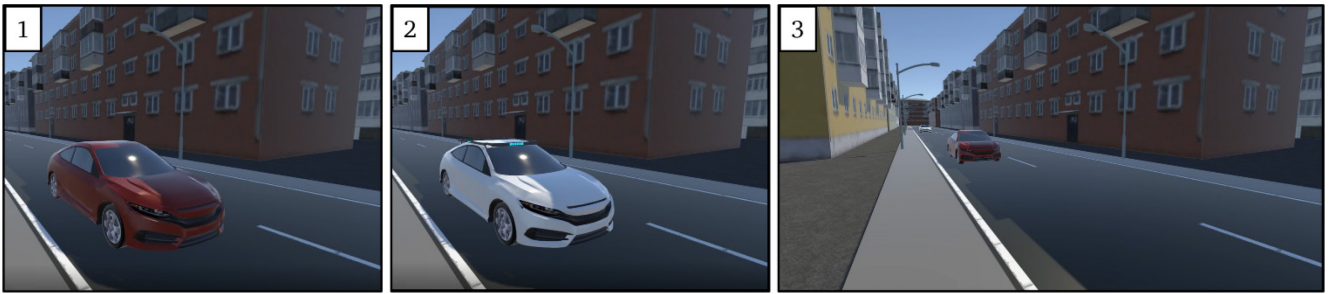


Abbildung 5-4: Videosexperiment zur Lückenakzeptanz. (1) Der rote Pkw repräsentiert den konventionellen Fahrmodus. (2) Der weiße Pkw mit eMMS repräsentiert den hochautomatisierten Fahrmodus. (3) Startbild der Videos: Dem konventionellen (roten) Pkw folgt ein hochautomatisierter (weißer) Pkw in einem definierten Abstand

Das Videosexperiment wurde mit dem JavaScript Framework jsPsych (Leeuw, 2015) programmiert und im Webbrowser Google Chrome auf einem Bildschirm (24 Zoll, 1920 x 1200 Auflösung) präsentiert.

### 5.1.6 Untersuchungsszenarien

Die Versuche wurden auf dem Vorfeld und in dem Tower-Gebäude des August-Euler-Flugplatzes der Technischen Universität Darmstadt durchgeführt (siehe Abbildung 5-5). Das übergeordnete Untersuchungsszenario war ein Shared Space als Konzept der Verkehrsflächenplanung (Hamilton-Baillie, 1978), d. h. es waren keine Verkehrszeichen, Signalanlagen oder Fahrbahnmarkierungen vorhanden. Der Shared Space als übergeordnetes Szenario wurde gewählt, weil in diesem die Interaktionen zwischen zu Fuß Gehenden und Fahrzeugen weniger stark reglementiert sind, bspw. durch die Abgrenzung der Verkehrsteilnehmenden durch zugeteilte Verkehrsflächen (Johora & Müller, 2020). Ein exemplarisches Verkehrsszenario im Shared Space ist in Abbildung 5-5 visualisiert.

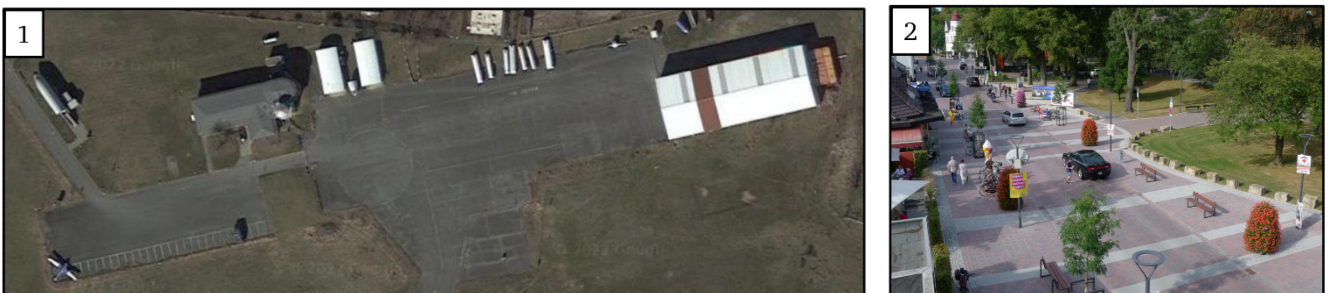


Abbildung 5-5: Untersuchungsszenario des kontrollierten Feldtests. (1) Vorfeld des August-Euler-Flugplatzes der Technischen Universität Darmstadt in Griesheim (Bildquelle: Google Maps © AeroWest,GeoBasis-DE/BKG,GeoContent, Maxar Technologies, Kartendaten © 2022 GeoBasis-DE/BKG (©2009)). (2) Shared Space als übergeordnetes Untersuchungsszenario (Bildquelle: © SHP Ingenieure, 2016)

Ausgehend vom Grundgedanken einer Interaktion zwischen zu Fuß gehender Person und Pkw (Wang et al., 2022), die in einem Konflikt über den zu besetzenden Raum der Verkehrsteilnehmenden begründet ist (Markkula et al., 2020), wurden zwei Untersuchungsszenarien anhand der Fahrstrategie des Pkws abgeleitet. Die Fahrstrategie des Pkws unterschied sich in der Intention für die Versuchsperson nachzugeben, d. h. abzubremfen (engl. „yielding“) oder nicht nachzugeben (engl. „non-yielding“). Beiden Szenarien lag die initiale Geschwindigkeit des Pkws von 20 km/h zugrunde, die im Szenario der nicht nachgebenden Fahrstrategie konstant beibehalten wurde. Für die nachgebende Fahrstrategie

wurde die Distanz von 22,2 m zur Versuchsperson bzw. eine TTA von 4 s für den Beginn des Bremsmanövers gewählt. In diesem zeitlichen bzw. räumlichen Abstand erwarten zu Fuß gehende Personen Signale von Fahrenden bei Interaktionen im Straßenverkehr (Beggiato et al., 2018). Der Pkw kam im Abstand von ca. 1 m vor der Versuchsperson zum Halten (in der sogenannten Haltezone).

Die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten sind in Abbildung 5-6 dargestellt. Ersichtlich sind Abweichungen zwischen geplanter Geschwindigkeit von 20 km/h und tatsächlich gefahrener Geschwindigkeit von 18,8 km/h im arithmetischen Mittel über alle Datenpunkte während der Versuche. Dabei ist anzumerken, dass die Geschwindigkeit mittels Tempomates des Pkw gesetzt wurde. Das Bremsmanöver resultiert in einem degressiven Rückgang der Geschwindigkeit, d. h. es wurde nicht konstant abgebremst. Dieses Bremsverhalten ist dem menschlichen Fahrverhalten nachempfunden (Risto et al., 2017; Schneemann & Gohl, 2016).

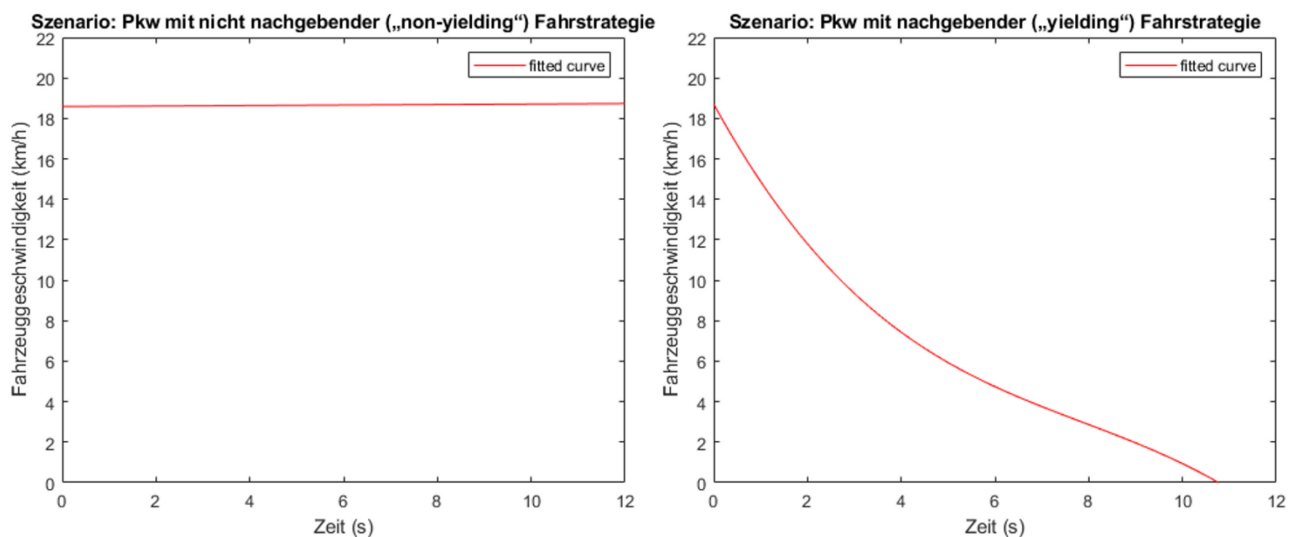


Abbildung 5-6: Regressionskurven der gemessenen Geschwindigkeit des Pkw über die Zeit in Abhängigkeit der Fahrstrategie. Für die nicht nachgebende Fahrstrategie wurde ein linearer Ansatz der Regression gewählt, für die nachgebende Fahrstrategie ein polynominaler Ansatz 3. Grades (korrigiertes  $R^2 = 0,97$ ). Die Regressionen wurden in Matlab durchgeführt.

Im konventionellen Fahrmodus, d. h. mit einem menschlichen Fahrer sichtbar am Steuer des Fahrzeugs, trug der Fahrer eine Warnweste, um seine Auffälligkeit gegenüber den Versuchspersonen zu erhöhen. Der Fahrer stellte keinen Blickkontakt mit den Versuchspersonen her, um eine Referenz zur Versuchskondition der niedrigen Automationstransparenz zu gewährleisten (geringe Informationsübermittlung) und die Versuchspersonen nicht durch zusätzliche Kommunikation des Fahrers zu beeinflussen.

### 5.1.7 Aufgaben der Versuchspersonen

#### Aufgabe bei der Interaktion

Um gleichbleibende Versuchsbedingungen herzustellen, wurde die Aufgabenbeschreibung standardisiert. Die Beschreibung der Aufgabe wurde angelehnt an Clercq et al. (2019), die diese zur

---

Untersuchung der Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden und automatisierten Pkw einsetzen. Der Wortlaut der Beschreibung war: „Schauen Sie nach links. Ihre Aufgabe startet, sobald das Fahrzeug die Pylonen durchfahren hat. Jedes Mal, wenn Sie sich zur Querung vor dem Fahrzeug sicher fühlen, gehen Sie wie folgt vor: (1) Drücken Sie den Knopf. (2) Halten Sie den Knopf so lange gedrückt, wie Sie sich sicher fühlen. (3) Wenn Sie sich nicht mehr sicher fühlen, lassen Sie den Knopf los. (4) Sobald Sie sich wieder sicher fühlen, drücken Sie den Knopf erneut. (5) Der Versuch endet, wenn das Fahrzeug Sie passiert hat (an Ihnen vorbeigefahren ist).“

Die Versuchsaufgabe war identisch für beide Untersuchungsszenarien und sollte die Versuchspersonen dazu anleiten, ihre Bereitschaft zur Querung kontinuierlich anzugeben, sodass wechselnde Bereitschaften zur Querung (bereit / nicht bereit) erfasst werden konnten.

### **Aufgabe beim Videoexperiment**

Die Versuchspersonen wurden in ein Szenario eingeführt, das dem Szenario der Interaktion im Testfeld angelehnt war. Nach der Instruktion der Fahrmodi, die zur besseren Unterscheidung im Video durch zwei unterschiedliche Farben der Pkw (rot = konventioneller Fahrmodus, weiß = hochautomatisierter Fahrmodus) repräsentiert wurden, erhielten die Versuchspersonen folgende Aufgabenbeschreibung als Text am Bildschirm: „Ihre Aufgabe ist es zu entscheiden, ob Sie die Straße zu Fuß zwischen den Autos überqueren möchten. Falls Sie die Straße zwischen den Autos überqueren möchten, geben Sie bitte durch das Drücken einer Taste auf der Tastatur den präferierten Zeitpunkt zur Querung an. Falls Sie die Straße zu Fuß zwischen den Autos nicht überqueren möchten, drücken Sie eine Taste auf der Tastatur nachdem das letzte Auto passiert ist.“. Die Versuchspersonen konnten die Aufgabe in einem Testvideo (konventioneller Fahrmodus, Lücke von 8 s zwischen den Pkw) testen.

### **5.1.8 Aufbau des kontrollierten Feldtests**

Der Versuchsaufbau bestand aus Material zur Darbietung des Untersuchungsszenarios, Messung der Bereitschaft zur Querung und Kontrolle der Fahrstrategie des Pkws. Eine schematische Abbildung des Versuchsaufbaus ist in Abbildung 5-7 dargestellt.

Die Versuchsperson stand im Abstand von 1 m zum Fahrstreifen des Pkw und hielt den Druckknopf für die Indikation der Bereitschaft zur Querung in der Hand. Hinter der Versuchsperson war eine Lampe positioniert, deren Signal von der Frontkamera im Pkw aufgezeichnet wurde. Vor der Versuchsperson stand eine 50 cm hohe Trennwand, die die Versuchsperson davon abhalten sollte auf die Fahrbahn zu treten. Im Abstand von 5 m vor der Trennwand stand eine Pylone, die das zu erreichende Ziel für die Versuchsperson darstellte.

Eine Lichtschranke war im Abstand von 22,2 m zur Versuchsperson positioniert, die bei der Durchfahrt des Pkw ein Lichtsignal in Richtung des Fahrzeugs aussandte. Das Lichtsignal diente als Startsignal für die Personen im Pkw (Fahrer und Versuchsleiter bzw. Versuchsleiterin), um die Fahrmanöver einzuleiten

und die eMMS zu steuern. Die Lichtschranke war ca. 50 cm hoch und stand im Abstand von 22,2 m im Sichtfeld der Versuchsperson. In einer Entfernung von 48,1 m zur Versuchsperson wurde außerhalb des direkten Sichtfeldes der Versuchsperson ein Schild als Marker aufgestellt, das von Kamera 2 des Pkw gefilmt und zur Referenzierung der Entfernung des Pkw zur Versuchsperson aufgenommen wurde. Zwei Pylonen standen im Abstand von 55 m zur Versuchsperson, die den Beginn der Aufgabe für die Versuchspersonen bei der Durchfahrt des Pkw markierten.

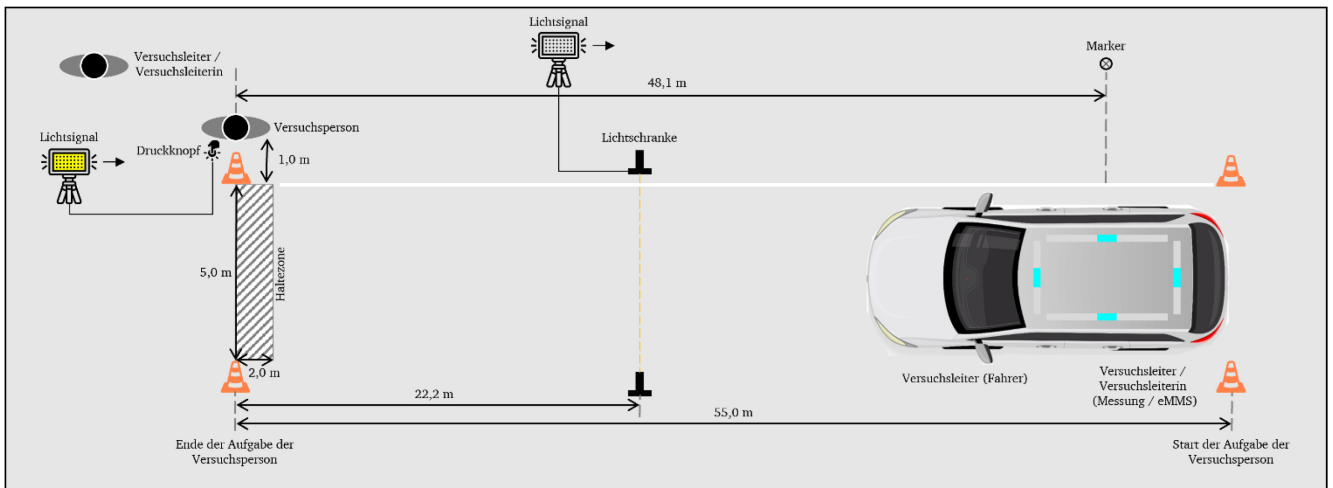


Abbildung 5-7: Schematischer Versuchsaufbau des kontrollierten Feldtests

### 5.1.9 Ablauf des kontrollierten Feldtests

Innerhalb von neun Wochen im Zeitraum vom 1. November bis 3. Dezember 2021 und 17. Januar bis 18. Februar 2022 fanden die Versuche jeweils montags, mittwochs und freitags von 9:00 bis 15:30 Uhr statt. Jede Versuchsperson nahm an den drei Versuchstagen einer Woche teil. Die Dauer eines Versuches betrug am ersten Versuchstag (Montag) ca. 60 Minuten pro Versuchsperson und an den folgenden Versuchstagen (Mittwoch und Freitag) ca. 45 Minuten. Maximal fünf Versuchspersonen nahmen pro Tag an den Versuchen teil. Der Abstand zwischen den Versuchstagen wurde äquidistant gewählt und von allen Versuchspersonen eingehalten, um gleichbleibende Bedingungen hinsichtlich der Erfahrung der Versuchspersonen zu gewährleisten. Für jeden Versuchstag und zu Beginn der Versuche einer Versuchsperson wurden die Wetterbedingungen dokumentiert.

An den Versuchstagen waren jeweils drei Versuchsleiterinnen und Versuchsleiter anwesend. Das Versuchsfahrzeug wurde über die gesamte Versuchsdauer hinweg nur von einem Fahrer gefahren, um interindividuelle Unterschiede in der Fahrweise auszuschließen. Die Betreuung der Versuchspersonen (bspw. Instruktion und Interview) und die Steuerung der Messsysteme sowie der eMMS wurden von wechselnden Versuchsleiterinnen und Versuchsleitern übernommen, die für diese Aufgaben an mindestens einem Testtag geschult wurden.



---

Ein Versuchsprotokoll wurde angefertigt und während der Versuche von einer Versuchsleiterin bzw. einem Versuchsleiter ausgefüllt. Die Vorlage für das Protokoll zum ersten Versuchstag ist in Anhang F enthalten.

Das Protokoll gab den folgenden Versuchsablauf vor:

- Die *Einverständniserklärung* zur Teilnahme an den Versuchen (inkl. Aufklärungsbogen, Erklärungsbogen zum Datenschutz und Einwilligung zu Bild- und Tonaufnahmen) wurde von der Versuchsperson unterschrieben (nur am ersten Versuchstag, t0)
- Die Versuchsperson füllte den *Fragebogen zum Vertrauen in hochautomatisierte Pkw* (mit Maus und/oder Tastatur) an einem Bildschirm (24 Zoll) aus (nur am ersten Versuchstag, t0).
- Die *Gehgeschwindigkeit der Versuchsperson* über eine Distanz von 5 m wurde gemessen (nur am ersten Versuchstag, t0). Dazu wurde die Versuchsperson zunächst in das übergeordnete Untersuchungsszenario des Shared Space eingeführt (siehe Anhang F für den exakten Wortlaut der Beschreibung). Zur Messung wurde die Lichtschranke auf dem Testfeld als Ziel genutzt, d. h. die Messung stoppte, sobald die Versuchsperson das Signal der Lichtschranke auslöste. Die Gehgeschwindigkeit diente als Cover-Story, um den Zweck der Platzierung der Lichtschranke im Testfeld zu maskieren.
- Das übergeordnete *Untersuchungsszenario wurde beschrieben* und die Versuchsperson ging die Distanz zwischen Standposition während der Versuche und der gegenüberliegenden Pylone (als intendierte Trajektorie der Querung) ab, um die Distanz zur Angabe der Bereitschaft zur Querung während der Interaktion mit dem Pkw besser einschätzen zu können.
- Die *Versuchsaufgabe bei der Interaktion* wurde erklärt (siehe Kapitel 5.1.7).
- Anschließend *interagierte* die Versuchsperson bei insgesamt vier *Wiederholungen mit dem Pkw im konventionellen Fahrmodus*, d. h. der Fahrer war sichtbar und keine eMMS auf dem Pkw aufgerüstet. Die Fahrstrategie wurde zufällig und ausbalanciert gewählt und jeweils die erste Wiederholung mit einer Fahrstrategie als *Übung* deklariert und nicht in die Datenauswertung aufgenommen. Die Interaktionen mit dem konventionellen Fahrmodus dienten als Referenzmessung für die Bereitschaft zur Querung bei der Interaktion mit dem hochautomatisierten Fahrmodus.
- Die *Instruktion zum hochautomatisierten Pkw* wurde durchgeführt. Neben einer allgemeinen Definition zum automatisierten Fahren wurde die Versuchsperson entsprechend ihrer Zuteilung zur Gruppe der Automationstransparenz über die Signale der eMMS des Pkw aufgeklärt. Die Instruktion wurde mittels Abbildungen (siehe Abbildung 5-2) und standardisierten Texten durchgeführt (siehe Anhang F). Im Anschluss an die Instruktion wurde ein Gedächtnis-Test durchgeführt, indem die Versuchsperson die Bedeutungen der eMMS Signale in eigenen Worten

wiedergab. Wenn die Bedeutung eines eMMS Signals nicht korrekt wiedergegeben wurde, wurde die Versuchsperson erneut aufgeklärt.

Während die Versuchsperson aufgeklärt wurde, wurde der Pkw außerhalb des Sichtfeldes der Versuchsperson zum WoOz-Fahrzeug mit eMMS umgerüstet.

- Nachdem die Versuchsperson an das übergeordnete Szenario erinnert und die Versuchsaufgabe erneut vorgelesen wurde, wurden 20 *Wiederholungen der Interaktion mit dem Pkw im hochautomatisierten Fahrmodus* durchgeführt. Die Versuchsperson wurde vor der ersten Interaktion verbal auf den hochautomatisierten Fahrmodus hingewiesen. Die Fahrstrategie wurde an jedem Versuchstag in zufälliger und ausbalancierter Reihenfolge präsentiert. In Abhängigkeit der Zuteilung zur Automationstransparenz und der gewählten Fahrstrategie des Pkw wurden unterschiedliche eMMS Signale verwendet. Diese sind in Tabelle 5-3 dargelegt.

Tabelle 5-3: Signale der eMMS nach der Fahrstrategie im kontrollierten Feldtest

Automations- transparenz (AT) (**)	Fahrstrategie	eMMS-Signal	Anzahl der Wiederholungen (*)
niedrig	nicht-nachgebend	Automationsstatus	10
	nachgebend	Automationsstatus	10
	<i>Wiederholungen gesamt (niedrige AT)</i>		<i>20</i>
hoch	nicht-nachgebend	Automationsstatus + Wahrnehmung der Fahrumgebung	10
	nachgebend	Automationsstatus + Wahrnehmung der Fahrumgebung + Kooperationsfähigkeit (Intention zum Nachgeben)	10
	<i>Wiederholungen gesamt (hohe AT)</i>		<i>20</i>

*Anmerkung.* (\*) Die Interaktion zwischen Versuchsperson und dem hochautomatisierten Pkw wurde für beide Fahrstrategien zehnmal wiederholt. (\*\*) Die Automationstransparenz war als Zwischensubjektvariable operationalisiert, d. h. jede Versuchsperson interagiere in 20 Wiederholungen mit dem hochautomatisierten Pkw

- Nach der Interaktion wurde der Gedächtnis-Test hinsichtlich der Bedeutung der eMMS Signale wiederholt und der *Fragenbogen zum Vertrauen in hochautomatisierte Pkw und zum mentalen Modell bezüglich hochautomatisierter Pkw* (mit Maus und/oder Tastatur) an einem Bildschirm (24 Zoll) ausgefüllt.
- Anschließend wurde das *videobasierte Experiment zur Lückenakzeptanz* von der Versuchsperson (mit Maus und/oder Tastatur) an einem Bildschirm (24 Zoll, 1920 x 1200 Auflösung) durchgeführt.
- Zum Abschluss eines Versuchstages wurde das *post-hoc Interview* durchgeführt. Die Antworten der Versuchsperson wurden aufgezeichnet.
- Die Versuchsperson wurden verabschiedet und erhielten am dritten, d.h. letzten, Versuchstag eine monetäre Entschädigung in der Höhe von 50 Euro.

Der Versuchsablauf ist in Abbildung 5-8 zusammengefasst.

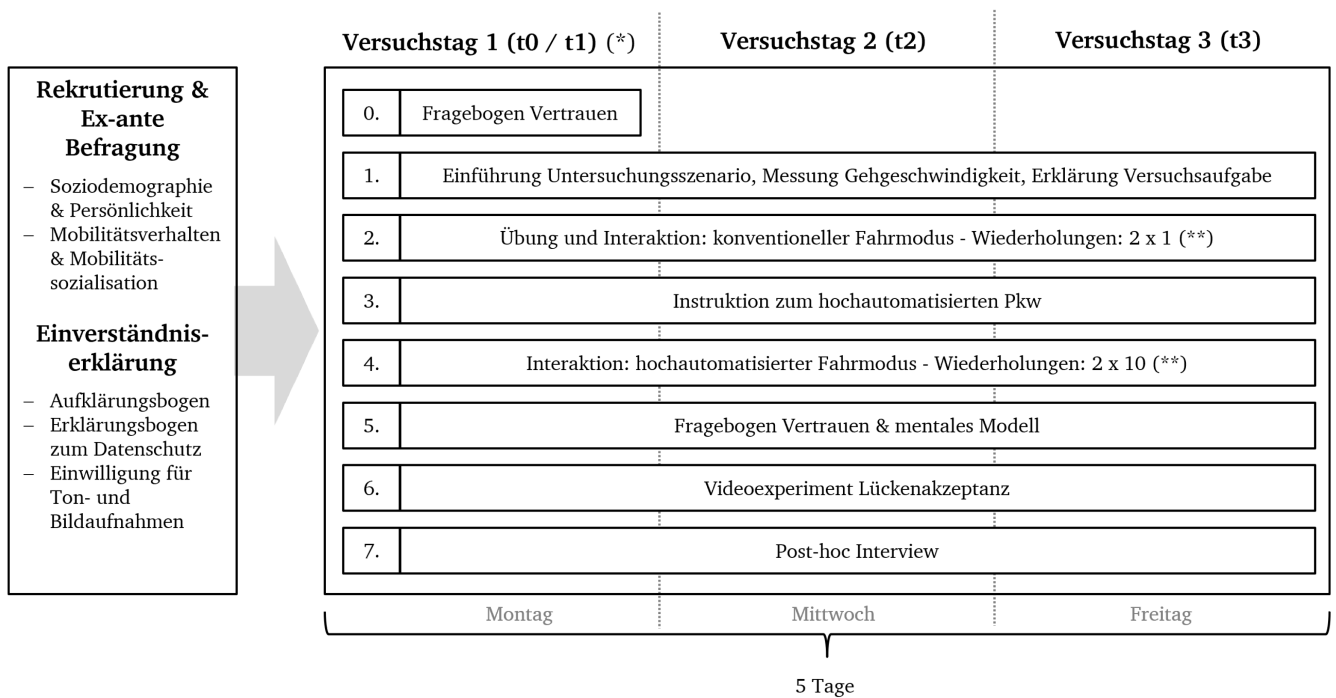


Abbildung 5-8: Ablauf des kontrollierten Feldtests. (\*) t0 = vor der Interaktion am ersten Versuchstag, t1 = nach der Interaktion am ersten Versuchstag; (\*\*) Beide Fahrstrategien (nachgebend und nicht nachgebend) wurden wiederholt präsentiert: für den konventionellen Fahrmodus einmal (2 x 1 Wiederholungen) und für den hochautomatisierten Fahrmodus zehnmal (2 x 10 Wiederholungen).

### 5.1.10 Vorgehen bei der Datenaufbereitung und -analyse

Der kontrollierte Feldtest wurde mit insgesamt 37 Versuchspersonen durchgeführt. Daten von insgesamt sechs Versuchspersonen wurden aus der Datenanalyse ausgeschlossen.

Vor der Datenaufbereitung wurde Daten von fünf Versuchspersonen aufgrund eines Manipulationschecks aus der Datenanalyse ausgeschlossen. Diese Versuchspersonen erkannten den Fahrer am Steuer und gaben dies im Interview am dritten Versuchstag an. Eine Versuchsperson erschien nicht zum dritten Versuchstag, weshalb die zugehörigen Daten aus der folgenden Analyse ausgeschlossen wurden. Abbildung 5-9 visualisiert die Verteilung und Exklusion der Versuchspersonen.

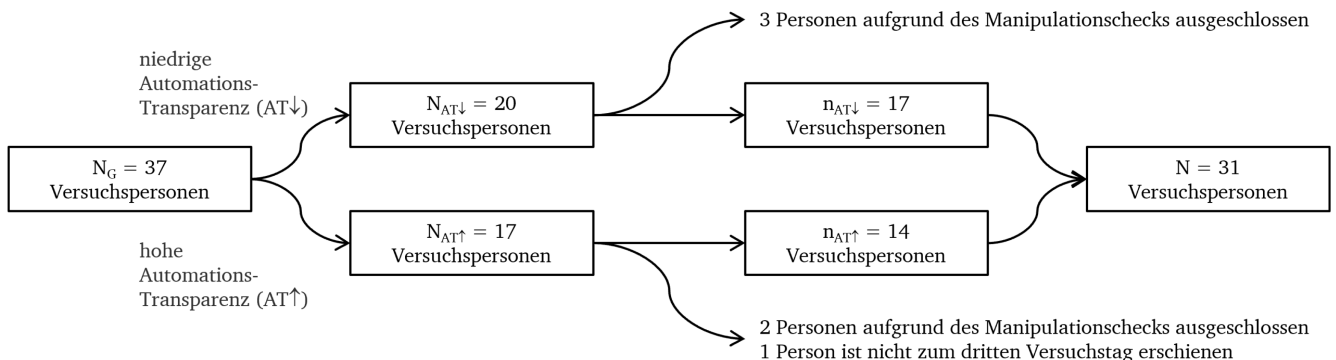


Abbildung 5-9: Verteilung und Exklusion der Versuchspersonen des kontrollierten Feldtests (AT = Automationstransparenz).

## Datenaufbereitung

Die Datenaufbereitung wird nach der zugehörigen Messgröße beschrieben.

### Messgröße: Bereitschaft zur Querung

Zur Datenaufbereitung wurden die Zeitstempel des Markers und des Lichtsignals aus den Videoaufnahmen ausgelesen und notiert. Mittels des Matlab-Skriptes wurden die Distanzen zwischen Pkw-Front und Standpunkt der Versuchsperson berechnet (siehe auch Kapitel 5.1.5).

Der Datensatz wurde um ausgefallene Wiederholungen der Interaktion zwischen Versuchsperson und Pkw bereinigt (bspw. aufgrund von einsetzendem Regen oder Defekten in der Versuchstechnik). Für die nachgebende Fahrstrategie wurden die Gesamtzeit des Bremsvorgangs berechnet und Ausreißer am Kriterium des 1,5-fachen Interquartilbereichs eliminiert (vgl. Bortz & Schuster, 2010). Die Zusammensetzung des bereinigten Datensatzes ist in Tabelle 5-4 dargelegt.

Tabelle 5-4: Zusammensetzung des bereinigten Datensatzes des kontrollierten Feldtests: Anzahl der geplanten und realisierten Datenpunkte (= Wiederholungen der Interaktion zwischen Versuchsperson und Pkw)

Fahrmodus		Fahrstrategie						Gesamt
		nicht-nachgebend			nachgebend			
		Versuchstag			Versuchstag			
		t1	t2	t3	t1	t2	t3	
konventionell	Plan	31	31	31	31	31	31	186
	Ausfall *	(1)	0	0	(1)	0	0	
	<b>Gesamt</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	
hochautomatisiert	Plan	310	310	310	310	310	310	1.821
	Ausfall *	7	8	1	7	7	6	
	Ausreißer **	0	0	0	3	1	0	
	<b>Gesamt</b>	<b>303</b>	<b>302</b>	<b>309</b>	<b>300</b>	<b>302</b>	<b>304</b>	

Anmerkungen. \* ausgefallene Wiederholungen; \*\* Gesamtzeit des Bremsbereichs fällt außerhalb des 1,5-fachen Interquartilbereichs

Der Datensatz wurde um die ausgefallenen Wiederholungen im konventionellen Fahrmodus nicht reduziert. Stattdessen wurde die Wiederholung durch die Übung im konventionellen Fahrmodus ersetzt, nachdem diese visuell auf Ausreißer geprüft wurden. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um keine weiteren Daten für die inferenzstatistische Analyse ausschließen zu müssen.

Zur deskriptiven Beschreibung der Daten wurde der prozentuale Anteil berechnet, in dem das Subkollektiv der Versuchspersonen, die einer Ausprägung der Automationstransparenz zugeordnet waren, bereit zur Querung war. Als Referenz wurde die Distanz von 45 m bis 2 m in einer Auflösung von 0,1 m Inkrementen zwischen Standort der Versuchsperson und Pkw gewählt.

Zur inferenzstatistischen Analyse wurden zwei Kennwerte in Abhängigkeit der Fahrstrategie gebildet:

- Nicht nachgebende Fahrstrategie: Die *minimale Lücke* (in m) wurde als kritische, gerade noch akzeptable Lückenschwelle der Versuchsperson zur Querung vor dem nicht nachgebenden Pkw verwendet (vgl. Beggiato et al., 2018; Das et al., 2005).

- Nachgebende Fahrstrategie: Ein *Bereitschaft zur Querung Score (BQS)* wurde gebildet, der als prozentualer Anteil der Bereitschaft zur Querung einer Versuchsperson in Abhängigkeit des Interaktionsintervalls von 45 m bis 2 m in einer Auflösung von 0,1 m Inkrementen interpretierbar ist (vgl. Clercq et al., 2019). Der Score wurde wie folgt berechnet:

$$BQS_{VP,j} = \frac{\sum_i Distanz_i \times x_B}{\sum_i Distanz_i} \times 100 \%$$

Wobei VP,j für Versuchsperson mit der Kennung j steht und  $x_B$  eine binäre Variable ist, die den Wert 1 annimmt, falls die Versuchsperson j bereit zur Querung ist (ansonsten 0).

Messgröße: Vertrauen und Misstrauen in den hochautomatisierten Pkw

Das Vertrauen und Misstrauen in den automatisierten Pkw wurde über den Fragebogen von Jian et al. (2000) in der deutschen Version von Pöhler et al. (2016) erhoben. Für die Subskalen Vertrauen und Misstrauen wurden deskriptive Kennwerte berechnet und Boxplots in Abhängigkeit der Automationstransparenz und Erfahrung erstellt. Zur Prüfung der internen Konsistenz des eingesetzten Fragebogens wurde der  $\alpha$ -Koeffizient von Cronbach (1951) als Reliabilitätsmaß berechnet (Bortz & Schuster, 2010). Die Ergebnisse der Berechnung sind in Tabelle 5-5 dargestellt. Ein  $\alpha$ -Koeffizient von mindestens 0,7 wird als akzeptabel angesehen (Lance et al., 2006).

Tabelle 5-5:  $\alpha$ -Koeffizient von Cronbach für die Subskalen des Fragebogens zum Vertrauen in den hochautomatisierten Pkw

Variable		Cronbachs Alpha		
		Subskala Vertrauen	Subskala Misstrauen	
Automationstransparenz (AT)	Erfahrung	gesamt	gesamt	ohne Item 2
niedrig (AT↓)	t0	0,67	0,33	0,62
	t1	0,83	0,20	0,42
	t2	0,83	0,69	0,72
	t3	0,79	0,56	0,72
hoch (AT↑)	t0	0,74	0,72	0,63
	t1	0,90	0,47	0,75
	t2	0,63	0,46	0,73
	t3	0,85	0,38	0,59

Anmerkungen. Item 2: „Das System verhält sich undurchsichtig.“  
(N = 31;  $n_{AT\downarrow}$  = 17;  $n_{AT\uparrow}$  = 14)

Die Berechnung des  $\alpha$ -Koeffizienten zeigt, dass beide Subskalen für einzelne Ausprägungen der Automationstransparenz und Erfahrung fragwürdige Werte ( $< 0,7$ ) aufweisen. Für die weitere Analyse wurden keine Veränderungen an der Subskala Vertrauen vorgenommen, weil nur zwei  $\alpha$ -Koeffizienten im fragwürdigen Bereich sind (0,67 bei  $t_{0AT\downarrow}$  und 0,63 bei  $t_{2AT\uparrow}$ ) und die Abweichung zum akzeptablen Bereich ( $> 0,7$ ) hinnehmbar erscheint. Die Subskala Misstrauen weist trotz der Exklusion des Items 2 („Das System verhält sich undurchsichtig.“) einzelne fragwürdige Werte des Cronbachs Alpha ( $< 0,7$ ) auf (insb. 0,42 bei  $t_{1AT\downarrow}$ ). Trotz des Hinweises auf fehlende Reliabilität der Skala wird die Subskala nicht aus der weiteren Analyse ausgeschlossen.

---

### Messgröße: Mentales Modell des hochautomatisierten Pkw

Die Messgröße des mentalen Modells wurde auf Rating-Skalen eines selbst entwickelten Befragungsinstruments erhoben (Joisten, Schwindt et al., 2022). Aufgrund der geringen Stichprobengröße von 31 Versuchspersonen wurde auf eine faktoranalytische Untersuchung des Befragungsinstruments verzichtet und stattdessen die einzelnen Items des Fragebogens für die weiterführende Analyse herangezogen.

Die Daten wurden für jedes Item visuell auf Ausreißer nach dem Kriterium des 1,5-fachen Interquartilsbereichs überprüft (vgl. Bortz & Schuster, 2010). Nach der Exklusion der Ausreißer wurden deskriptive Kennwerte berechnet.

### Messgröße: Lückenakzeptanz

Die Daten zur Lückenakzeptanz wurden anhand der Reaktionszeiten zum Tastendruck geprüft und Datensätze eliminiert, in denen die Reaktionszeit kleiner gleich 1,6 s war. Bei einer Reaktionszeit von kleiner gleich 1,6 s wäre es im Fall einer Querung zur Kollision mit dem ersten Pkw gekommen. Anschließend wurden die Daten in Abhängigkeit der präsentierten Lücke (3 bis 8 s), des Fahrmodus (konventionell und hochautomatisiert) und der Automationstransparenz (niedrig und hoch) nach relativer Häufigkeit der akzeptierten Lücke aggregiert und in Histogrammen visualisiert.

### Post-hoc Interviews

Die angefertigten Tonaufnahmen wurden transkribiert und anhand der Fragestellungen zum Einfluss des Fahrmodus auf die Entscheidung zur Straßenquerung und der Einflussgrößen auf das Vertrauen in hochautomatisierte Pkw analysiert. Dazu wurden die Transkripte gelesen und im Rahmen einer induktiven Vorgehensweise der qualitativen Datenauswertung Antwortkategorien gebildet und zusammengefasst (vgl. Mayring, 2014). Die Kategorienbildung wurde wiederholt und die Ergebnisse in Abhängigkeit der Gruppe der Automationstransparenz tabellarisch zusammengefasst.

## **Datenanalyse**

Die Datenanalyse wird nach der zugehörigen Messgröße beschrieben.

### Messgrößen: Bereitschaft zur Querung, Vertrauen und Misstrauen sowie mentales Modell

Für Versuchspläne mit Messwiederholung und einem Zwischensubjektfaktor (Automationstransparenz) und einem Innersubjektfaktor (Erfahrung) bzw. zwei Innersubjektfaktoren (Erfahrung, Fahrmodus) eignen sich zwei- bzw. drei-faktorielle Varianzanalysen (ANOVA; Bortz & Schuster, 2010) zur Prüfung der Hypothesen. Eine wesentliche Voraussetzung für die Durchführung der Varianzanalyse ist die Normalverteilungsannahme (Bortz & Schuster, 2010). Bei der Verletzung dieser Annahme können nicht-parametrische Analyseverfahren durchgeführt werden und eine Datentransformation angewandt

werden (Wobbrock et al., 2011). Eine gängige Datentransformation, die für Messwiederholungen angewandt werden kann, ist die Aligned Rank Transformation (ART; Higgins et al., 1990).

Die Prüfung der abhängigen Variablen mittels Shapiro-Wilk-Test (Shapiro & Wilk, 1965) zeigte, dass die Normalverteilungsannahme für einzelne Ausprägungen der Faktoren verletzt ist. Deshalb wurde eine nicht-parametrische ANOVA mit ART durchgeführt (Wobbrock et al., 2011). Ein Signifikanz-Niveau von  $\alpha = 0,05$  wurde angenommen und Post-hoc Kontraste wurden mittels Holm-Bonferroni Korrektur oder Wilcoxon-Rangsummentest berechnet. Die Datentransformation und varianzanalytischen Berechnungen wurden in R (Version 4.2.2; R Core Team, 2022) mit dem Packet ARTool (Kay et al., 2021) durchgeführt. Post-hoc Kontraste wurden mit der ART-C Prozedur berechnet, die im ARTool Packet enthalten ist (Elkin et al., 2021).

#### Messgröße: Lückenakzeptanz

Für die präsentierte Lücke von 4 s wurden die Unterschiede zwischen der Ausprägung der Automationstransparenz mittels Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest nach statistischer Signifikanz geprüft. Auf weitere Prüfungen wurde aufgrund der Ähnlichkeit der deskriptiven Daten im Rahmen dieser Arbeit verzichtet.

#### Korrelations- und Regressionsanalyse

Für die explorative Analyse von Lerneffekten bei der Bereitschaft zur Querung wurden Streudiagramme des BQS und der minimalen Lücke in Abhängigkeit der Wiederholung des Versuchs erstellt und der Spearman-Korrelationskoeffizient berechnet. Des Weiteren wurden für die Analyse des Zusammenhangs von Vertrauen sowie Misstrauen in den hochautomatisierten Pkw und der Bereitschaft zur Querung lineare Regressionsmodelle berechnet.

#### Effektgröße

Die Effektgröße wird berechnet, um die Größe von statistisch signifikanten Unterschieden und Zusammenhängen einzuordnen. Die Interpretationswerte der Effektgröße für den t-Test und die ANOVA nach Cohen (1988) sowie für die Korrelationsanalyse nach Gignac und Szodorai (2016) sind in Tabelle 5-6 dargelegt (vgl. Döring & Bortz, 2016).

Tabelle 5-6: Interpretationswerte für die Effektgröße nach Cohen (1988) und Gignac und Szodorai (2016)

Effektgröße	Statistischer Test		
	t-Test Cohens d	ANOVA $\eta_p^2$	Korrelation r
Kleiner Effekt	0,2	0,01	0,1
Mittlerer Effekt	0,5	0,06	0,2
Großer Effekt	0,8	0,14	0,3

---

## 5.2 Ergebnisse des kontrollierten Feldtests

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse des kontrollierten Feldtests berichtet.

### 5.2.1 Versuchspersonen und Sampling

#### Soziodemographie, Verkehrsmittelnutzung und Mobilität zu Fuß

Daten von 31 Versuchspersonen, davon 13 Frauen und 18 Männer, im Alter von 21 bis 31 Jahren ( $MW_{\text{Alter}} = 23,97$  Jahre;  $SD_{\text{Alter}} = 2,42$  Jahre) werden in den Ergebnisbericht eingeschlossen.

61 % der Versuchspersonen leben in einer Stadt von einer Größe von mindestens 100.000 Personen. Im Alter von 6 bis 12 Jahren lebte die Mehrheit der Versuchspersonen (68 %, 21 Versuchspersonen) in einer Stadt von einer Größe zwischen 5.000 und 20.000 Personen.

Das Kollektiv der Versuchspersonen nutzt verschiedene Verkehrsmittel für private und berufliche Zwecke. Das Automobil, die Verkehrsmittel des ÖPNV (Busse, U-Bahnen und S-Bahnen), das Fahrrad und das Zufußgehen werden von mindestens 58 % der Personen für private Zwecke und von mindestens 32 % der Personen für berufliche Zwecke genutzt.

30 Versuchspersonen (97 %) besitzen einen Führerschein der Klasse B in Deutschland. Die Mehrheit dieser Personen (57 %) legt damit weniger als 5.000 km pro Jahr zurück. 55 % sind im Besitz eines Automobils und 81 % sind im Besitz eines Fahrrads.

Hinsichtlich der Mobilitätskennwerte als zu Fuß gehende Person im Straßenverkehr geben 19 Versuchspersonen (61 %) an, bis zu zwei Wege von mindestens 500 m im Straßenverkehr zu Fuß pro Tag zurückzulegen. 35 % gehen mehr als zwei aber weniger als vier Wege pro Tag für mindestens 500 m im Straßenverkehr zu Fuß. Für diese Wege gehen 45 % der Versuchspersonen für 15 bis 30 Minuten täglich im Straßenverkehr. 29 % gehen täglich weniger als 15 Minuten und 26 % gehen täglich zwischen 30 und 60 Minuten zu Fuß im Straßenverkehr. Keine Person aus dem Kollektiv der Versuchspersonen war in der Vergangenheit an einem Unfall als zu Fuß gehende Person im Straßenverkehr beteiligt.

Eine vollständige tabellarische Zusammenfassung der soziodemographischen Daten, der Daten zur Mobilität und Verkehrsmittelnutzung sowie der Daten zum Verhalten als zu Fuß gehende Person im Straßenverkehr ist dem Anhang dieser Arbeit zu entnehmen (siehe Anhang D).

#### Sampling

Die 31 Versuchspersonen wurden anhand der Gruppierungsvariable der Automationstransparenz (niedrig / hoch) in zwei Gruppen geteilt. In den Ergebnisbericht eingeschlossen werden 17 Versuchspersonen, die der Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz zugeordnet werden ( $n_{\text{AT}\downarrow} = 17$ ;  $MW_{\text{Alter}} = 24,47$ ; Jahre;  $SD_{\text{Alter}} = 2,76$  Jahre; 7 weiblich; 10 männlich). 14 Versuchspersonen werden der Ausprägung der hohen Automationstransparenz zugeordnet ( $n_{\text{AT}\uparrow} = 14$ ;  $MW_{\text{Alter}} = 23,36$  Jahre;  $SD_{\text{Alter}} = 1,82$  Jahre; 6 weiblich; 8 männlich). Die Gruppen unterschieden sich nicht nach dem



Geschlecht ( $\chi^2(1) = 0$ ;  $p = 1$ ; Chi-Quadrat-Test mit Yates Korrektur) oder dem Alter ( $t(29) = 1,292$ ;  $p = 0,207$ ).

In Tabelle 5-7 sind die über Fragebögen gemessenen konfundierenden Variablen dargelegt. Die Gruppen unterscheiden sich in der Dimension „Verletzungen“ des PBQ-d. Die Versuchspersonen, die der Gruppe der niedrigen Automationstransparenz ( $MW_{AT\downarrow} = 3,61$ ;  $SD_{AT\downarrow} = 0,72$ ) zugeordnet sind, berichten im Vergleich zu den Versuchspersonen, die der Gruppe der hohen Automationstransparenz ( $MW_{AT\uparrow} = 2,93$ ;  $SD_{AT\uparrow} = 0,64$ ) zugeordnet sind, statistisch signifikant häufiger von Verletzungen, die sie als zu Fuß gehende Person im Straßenverkehr ausüben ( $t(29) = 2,748$ ;  $p = 0,010$ ;  $d = 0,992$ ).

Tabelle 5-7: Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD) und Ergebnisse des Vergleichs zwischen den Gruppen für die eingesetzten standardisierten Fragebögen

Variable	Gruppierungsvariable: Automationstransparenz (AT)		Vergleich zwischen den Gruppen	Statistische Signifikanz  <i>p</i>
	niedrig (↓)	hoch (↑)		
	MW (SD)	MW (SD)		
PBQ-d „Verletzungen“	3,61 (0,72)	2,93 (0,64)	$t(29) = 2,748$	<b>0,010 *</b>
PBQ-d „Versehen“	1,47 (0,41)	1,48 (0,41)	$t(29) = -0,078$	0,939
PBQ-d „Aggressives Verhalten“	1,60 (0,79)	1,62 (0,74)	$t(29) = -0,080$	0,937
IE-4 „Internale Kontrollüberzeugung“	4,21 (0,40)	3,93 (0,58)	$t(29) = 1,569$	0,128
IE-4 „Externale Kontrollüberzeugung“	2,41 (0,75)	2,39 (1,16)	$t(29) = 0,055$	0,957
AISS-d „Neuigkeit“	2,78 (0,53)	2,69 (0,42)	$t(29) = 0,504$	0,618
AISS-d „Intensität“	2,39 (0,60)	2,38 (0,39)	$t(29) = 0,094$	0,926

Anmerkungen. \*  $d = 0,992$ ; PBQ-d = Deutsche Version des Pedestrian Behaviour Questionnaire (Likert-Skala von 1 - „nie“ - bis 6 - „immer“); IE-4 = Internale-Externale-Kontrollüberzeugung (Kovaleva et al., 2014; Likert-Skala von 1 - „stimme gar nicht zu“ - bis 5 - „stimme voll und ganz zu“); AISS-d = Deutsche Version des Arnett Inventory of Sensation Seeking (Roth & Mayerhofer, 2003; Likert-Skala von 1 - „trifft gar nicht auf mich zu“ - bis 4 - „trifft stark auf mich zu“)

( $N = 31$ ;  $n_{AT\downarrow} = 17$ ;  $n_{AT\uparrow} = 14$ )

## Lückenakzeptanz

Die Lückenakzeptanz der Versuchspersonen wurde in einem Videoexperiment als binäre Variable erhoben (Lücke akzeptiert oder nicht akzeptiert). Sie dient als konfundierende Variable sowie zur Beschreibung und Einordnung des Studienkollektivs. Die Ergebnisse des Videoexperiments wurden in Abhängigkeit des Fahrmodus und der Automationstransparenz aggregiert und aufbereitet.

Abbildung 5-10 zeigt die Lückenakzeptanz der Versuchspersonen am ersten Versuchstag ( $t_1$ ). Die Lückenakzeptanz der Versuchspersonen steigt für beide Fahrmodi und Ausprägungen der Automationstransparenz mit zunehmender Lückengröße zwischen den Fahrzeugen. Ab einer Lückengröße von 7 s akzeptieren alle Versuchspersonen die Lücken zwischen den Fahrzeugen, unabhängig von dem Fahrmodus und der Automationstransparenz.

Für den konventionellen Fahrmodus akzeptiert die Gruppe der niedrigen Automationstransparenz signifikant häufiger Lücken der Größe von 4 s (70,6 %;  $\chi^2(1) = 5,591$ ;  $p = 0,018$ ;  $d = 0,938$ ; Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest mit Yates Korrektur) als die Gruppe der hohen Automationstransparenz

(21,4 %). Der Unterschied im hochautomatisierten Fahrmodus ist für diese Lückengröße zwischen den Gruppen der Automationstransparenz nicht statistisch signifikant (niedrige Automationstransparenz: 58,5%; hohe Automationstransparenz: 28,6 %;  $\chi^2(1) = 1,747$ ;  $p = 0,186$ ; Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest mit Yates Korrektur). Mit Ausnahme von einer Person in der Gruppe der hohen Automationstransparenz werden kleinere Lücken der Größe von 3 s nur von der Gruppe der niedrigen Automationstransparenz akzeptiert.

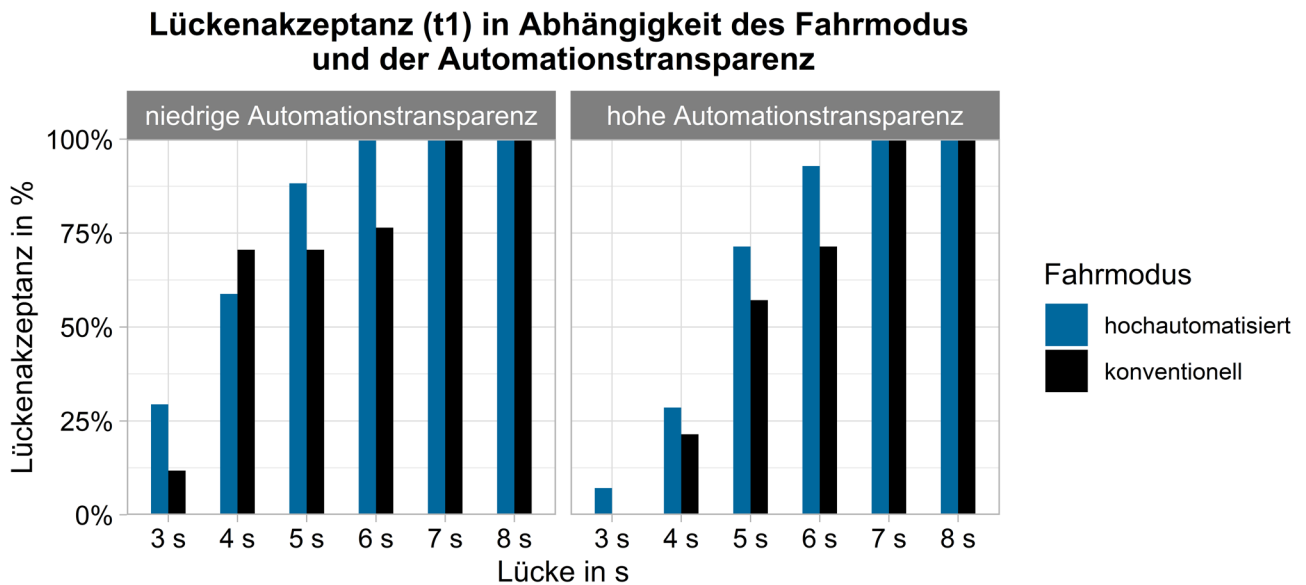


Abbildung 5-10: Lückenakzeptanz in % gemessen im Videoexperiment am ersten Versuchstag (t1) in Abhängigkeit des Fahrmodus und der Automationstransparenz (AT). Die Prozentwerte wurden über 372 Beobachtungen berechnet (2 Fahrmodi x 6 Lückengrößen x 31 Versuchspersonen). (N = 31; n<sub>AT↓</sub> = 17; n<sub>AT↑</sub> = 14)

### 5.2.2 Bereitschaft zur Querung vor dem hochautomatisierten Pkw

Die Bereitschaft zur Querung der Versuchspersonen wurde über einen Druckknopf erfasst, den die Versuchspersonen drückten, solange sie sich sicher zur Querung vor dem Pkw fühlten. Die Ergebnisse werden für die beiden Fahrstrategien des Pkw getrennt berichtet.

#### **Szenario: Pkw mit nicht nachgebender („non-yielding“) Fahrstrategie**

Die Ergebnisse für das Szenario mit nicht nachgebender Fahrstrategie werden zunächst deskriptiv beschrieben und anschließend mit inferenzstatistischen Methoden analysiert.

#### Deskriptive Verläufe der Bereitschaft zur Querung

Für die Fahrstrategie des nicht nachgebenden Pkw sind die aggregierten Verläufe der Bereitschaft zur Querung in Abhängigkeit der Erfahrung, des Fahrmodus und der Automationstransparenz in Abbildung 5-11 dargestellt. Die gemessene Geschwindigkeit des Pkw betrug durchschnittlich 18,8 km/h.

### Aggregierte Verläufe der Bereitschaft zur Querung für die nicht nachgebende Fahrstrategie

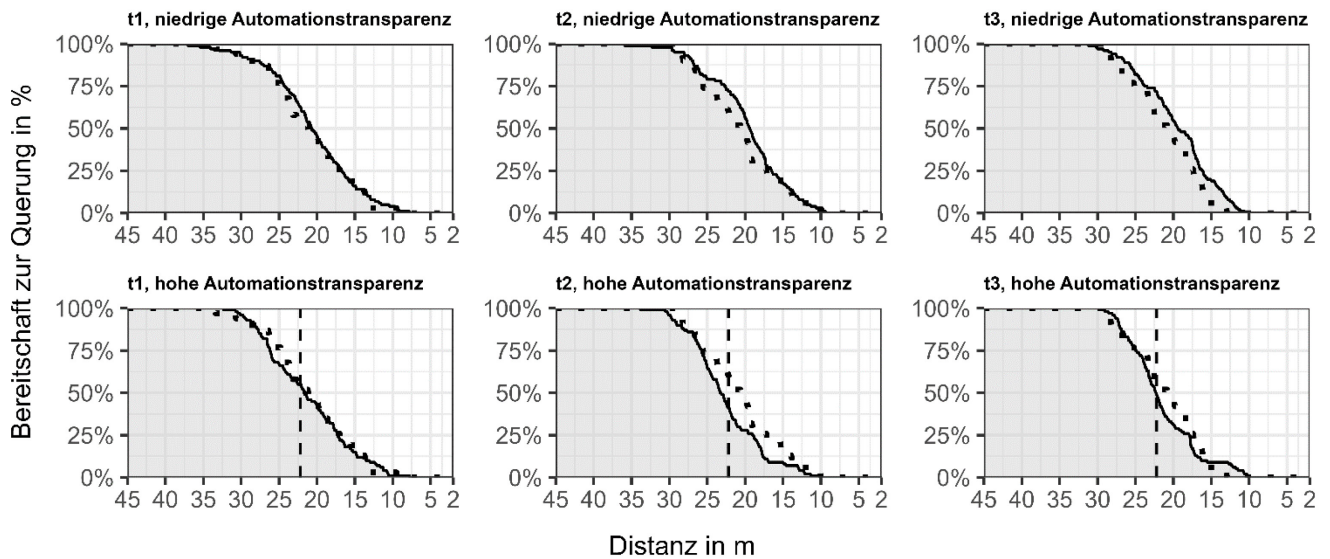


Abbildung 5-11: Bereitschaft der Versuchspersonen zur Initiierung einer Querung vor dem Fahrzeug in % in Abhängigkeit des Abstands zum nicht nachgebenden Pkw in m sowie der Automationstransparenz (Zeilen) und der Erfahrung der Versuchspersonen (Spalten). Die durchschnittlich gemessene Geschwindigkeit des Pkws betrug 18,8 km/h. Der Fahrmodus des hochautomatisierten Pkw ist als durchgezogene Linie, der Fahrmodus des konventionellen Pkws ist als gepunktete Linie dargestellt. Für die Ausprägung der hohen Automationstransparenz (untere Zeile) markiert die gestrichelte, vertikale Linie bei 22,2 m die Distanz, bei dem das Signal der Wahrnehmung der Fahrumgebung über die eMMS aktiviert wurde. Nach der Bereinigung der Daten wurde der Prozentsatz der Bereitschaft zur Querung für den hochautomatisierten Fahrmodus mit niedriger Automationstransparenz über 166 Wiederholungen an t1, 165 Wiederholungen an t2 und 170 Wiederholungen an t3 berechnet (maximal 17 Versuchspersonen  $\times$  10 Wiederholungen pro Versuchstag). Für den hochautomatisierten Fahrmodus mit hoher Automationstransparenz wurde dieser Prozentsatz über 137 Wiederholungen an t1, 137 Wiederholungen an t2 und 139 Wiederholungen an t3 berechnet (maximal 14 Versuchspersonen  $\times$  10 Wiederholungen pro Versuchstag). Für den konventionellen Fahrmodus wurde der Prozentsatz über 31 Wiederholungen an t1, t2 und t3 berechnet (maximal 31 Versuchspersonen  $\times$  1 Wiederholungen pro Versuchstag). (N = 31;  $n_{AT\downarrow}$  = 17;  $n_{AT\uparrow}$  = 14)

In einer Entfernung von 45 m zum Pkw fühlten sich alle Versuchspersonen sicher, vor dem nicht nachgebenden Pkw zu queren. Je näher der Pkw in Richtung des Standpunkts der Versuchspersonen kam, desto geringer wurde die Bereitschaft der Versuchspersonen vor dem Pkw zu queren. Am ersten Versuchstag sank die Bereitschaft zur Querung erstmalig bei einem Abstand von 37,0 m zwischen Versuchsperson und hochautomatisiertem Pkw für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz und bei 32,3 m für die Ausprägung der hohen Automationstransparenz. Der Kennwert des erstmaligen Abfalls der Kurve der Bereitschaft zur Querung vor dem hochautomatisierten Pkw reduzierte sich am dritten Versuchstag auf 31,2 m für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz und auf 29,4 m für die Ausprägung der hohen Automationstransparenz. Die Bereitschaft zur Querung vor dem hochautomatisierten Pkw erreicht über alle drei Versuchstage bei einem Abstand von ca. 20 m zwischen Versuchsperson und Pkw den Wert von 50 %, d. h. in 50 % der Wiederholungen fühlten sich die Versuchspersonen im Abstand von 20 m zum hochautomatisierten Pkw noch sicher zu queren. Während der Wert für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz geringfügig unter 20 m liegt (t1: 20,75 m; t2: 19,4 m; t3: 19,75 m), liegt der Wert für die hohe Automationstransparenz geringfügig über 20 m (t1: 21,7 m; t2: 23,4 m; t3: 22,3 m). Der Abstand zwischen Versuchsperson und hochautomatisiertem Pkw, in dem keine Querung mehr vor dem Pkw

initiiert wurde, liegt für die niedrige und hohe Automationstransparenz zwischen 7,7 m und 10,5 m über alle Versuchstage hinweg.

Die Kurven des konventionellen Fahrmodus (gepunktete Linien in Abbildung 5-11) sind für beide Ausprägungen der Automationstransparenz annähernd kongruent in ihrem Verlauf zu den Kurven des hochautomatisierten Fahrmodus.

### Inferenzstatistische Analyse der Effekte mittels ANOVA

Um die Effekte der Faktoren Erfahrung, Fahrmodus und Automationstransparenz auf die *minimale Lücke* mit inferenzstatistischen Methoden zu untersuchen, wurde ein dreifaktorielle gemischte ANOVA mit ART durchgeführt. Die deskriptiven Kennwerte und Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 5-8 und Abbildung 5-12 zusammengefasst.

Tabelle 5-8: Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD) und Ergebnisse der dreifaktoriellen gemischten ANOVA für die Variable *Minimale Lücke* in m

Automationstransparenz (AT)			Dreifaktorielle gemischte ANOVA						
	niedrig (↓)	hoch (↑)	gesamt	Effekt	F	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	p	η <sub>p</sub> <sup>2</sup>
	MW (SD)	MW (SD)	MW (SD)						
Minimale Lücke in m (hochautomatisierter Fahrmodus)									
t1	20,45 (5,53)	21,46 (4,94)	20,91 (5,21)	E×FM×AT	0,791	2	145	0,456	-
t2	19,95 (4,93)	22,74 (4,63)	21,21 (4,92)	E×AT	6,973	2	145	<b>0,001</b>	0,088
t3	19,67 (4,72)	21,65 (4,36)	20,56 (4,60)	E×FM	0,435	2	145	0,648	-
Minimale Lücke in m (konventioneller Fahrmodus)									
t1	22,06 (5,38)	21,15 (5,16)	21,65 (5,22)	AT×FM	1,079	1	145	0,301	-
t2	19,59 (4,62)	22,33 (5,66)	20,83 (5,21)	FM	0,667	1	145	0,415	-
t3	20,45 (4,93)	21,92 (4,24)	21,12 (4,61)	E' AT↓	4,783	2	80	<b>0,011</b>	0,107
Minimale Lücke in m (gesamt)									
t1	21,26 (5,44)	21,31 (4,96)	21,28 (5,18)	E' AT↑	3,123	2	65	<b>0,050</b>	0,087
t2	19,77 (4,71)	22,54 (5,08)	21,02 (5,03)	Effekt	W			p	r
t3	20,06 (4,77)	21,79 (4,22)	20,84 (4,58)	AT' E,t1	488			0,872	-
				AT' E,t2	643			<b>0,018</b>	0,378
				AT' E,t3	602			0,076	-

*Anmerkungen.* ANOVA = analysis of variance (Varianzanalyse); W = zweiseitiger Wilcoxon-Rangsummentest (exakt); AT = Automationstransparenz; E = Erfahrung; FM = Fahrmodus. E'x = einfacher Haupteffekt der Erfahrung für Ausprägung X der Automationstransparenz; AT'x = einfacher Haupteffekt der Automationstransparenz für Ausprägung X der Erfahrung (N = 31; n<sub>AT↓</sub> = 17; n<sub>AT↑</sub> = 14)

Der dreifache Interaktionseffekt zwischen den Faktoren *Erfahrung*, *Fahrmodus* und *Automationstransparenz* ist nicht statistisch signifikant ( $F(2, 145) = 0,791$ ;  $p = 0,456$ ), weshalb die zweifachen Interaktionseffekte betrachtet werden. Aufgrund der nicht statistisch signifikanten Interaktionseffekte zwischen Fahrmodus und Erfahrung sowie zwischen Fahrmodus und Automationstransparenz, kann der *Haupteffekt des Fahrmodus* analysiert werden. Dieser ist nicht statistisch signifikant ( $F(1, 145) = 0,667$ ;  $p = 0,415$ ). Die minimale Lücke unterscheidet sich demnach nicht statistisch signifikant in Abhängigkeit des konventionellen oder hochautomatisierten Fahrmodus des Pkw.

Der Interaktionseffekt zwischen den Faktoren *Erfahrung* und *Automationstransparenz* ( $F(2, 145) = 6,973$ ;  $p = 0,001$ ;  $\eta_p^2 = 0,088$ ) ist statistisch signifikant. Deshalb wird auf die Darstellung der

Haupteffekte verzichtet und stattdessen werden einfache Haupteffekte für die einzelnen Ausprägungen der Faktoren berichtet.

Die minimale Lücke unterscheidet sich statistisch signifikant in Abhängigkeit der *Erfahrung* der Versuchsperson für beide Ausprägungen der Automationstransparenz (niedrige Automationstransparenz:  $F(2, 80) = 4,783$ ;  $p = 0,011$ ;  $\eta_p^2 = 0,107$  ; hohe Automationstransparenz:  $F(2, 65) = 3,123$ ;  $p = 0,050$ ;  $\eta_p^2 = 0,087$ ). Post-hoc Tests mit Bonferroni-Holm Korrektur zeigen nur für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz eine statistisch signifikante Reduzierung der minimalen Lücke zwischen t1 ( $MW_{AT\downarrow,t1} = 21,26$  m,  $SD_{AT\downarrow,t1} = 5,44$  m) und t2 ( $MW_{AT\downarrow,t2} = 19,77$  m,  $SD_{AT\downarrow,t2} = 4,71$  m) sowie zwischen t1 und t3 ( $MW_{AT\downarrow,t3} = 20,06$  m,  $SD_{AT\downarrow,t3} = 4,77$ ).

Die minimale Lücke unterscheidet sich statistisch signifikant in Abhängigkeit der *Automationstransparenz* für die Ausprägung t2 der Erfahrung ( $W = 643$ ;  $p = 0,018$ ;  $r = 0,378$ ; Wilcoxon-Rangsummentest), jedoch nicht für die Ausprägungen t1 und t3 des Faktors Erfahrung. Die minimale Lücke betrug zum Zeitpunkt t2 für die Gruppe der niedrigen Automationstransparenz 19,77 m ( $SD_{AT\downarrow,t2} = 4,71$  m) und für die Gruppe der hohen Automationstransparenz 22,54 m ( $SD_{AT\uparrow,t2} = 5,08$  m).

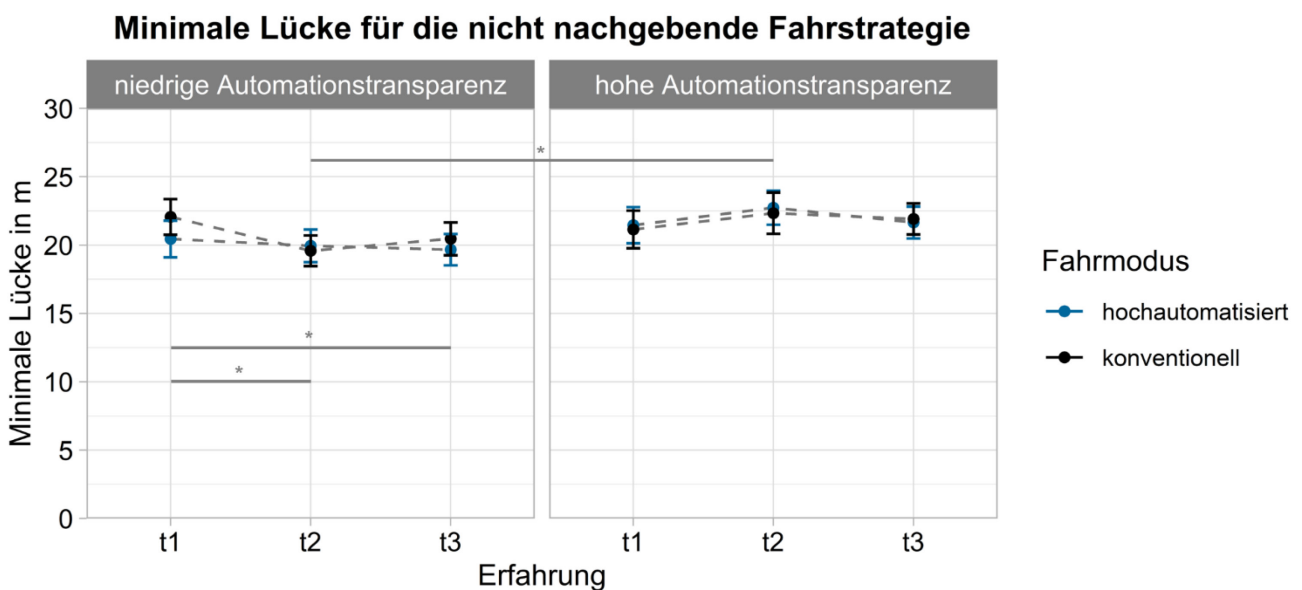


Abbildung 5-12: Liniendiagramm der Ergebnisse zur *Minimalen Lücke* im Szenario mit nicht nachgebender Fahrstrategie in Abhängigkeit der Erfahrung der Versuchspersonen, des Fahrmodus und der Automationstransparenz des hochautomatisierten Pkws. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar. (N = 31;  $n_{AT\downarrow} = 17$ ;  $n_{AT\uparrow} = 14$ )

\*  $p < 0,05$  (mit Bonferroni-Holm-Korrektur, graue Linie: keine Unterscheidung des Fahrmodus)

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der Bereitschaft zur Querung im Szenario mit nicht nachgebender Fahrstrategie, dass die Bereitschaft zur Querung annähernd linear zum sich reduzierenden Abstand zum Pkw abnimmt. In einem Abstand von ca. 20 m und der gemessenen Fahrzeuggeschwindigkeit von 18,8 km/h fühlten sich die Versuchspersonen in 50 % der Wiederholungen noch sicher vor dem Pkw zu querung. Der Fahrmodus, des hochautomatisierten oder konventionellen Pkws, hatte keinen Einfluss auf die minimale Lücke im Szenario mit nicht nachgebender Fahrstrategie. Unabhängig vom Fahrmodus des Pkw nahm für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz

die minimale Lücke statistisch signifikant zwischen der ersten und den beiden nachfolgenden Messungen ab, wobei die Differenz zwischen erster und dritter, d. h. letzter, Messung 1,2 m betrug.

### Szenario: Pkw mit nachgebender („yielding“) Fahrstrategie

Die Ergebnisse für das Szenario mit nachgebender Fahrstrategie werden zunächst deskriptiv beschrieben und anschließend mit inferenzstatistischen Methoden analysiert.

#### Deskriptive Verläufe der Bereitschaft zur Querung

Für die Fahrstrategie des nachgebenden Pkw sind die aggregierten Verläufe der Bereitschaft zur Querung in Abhängigkeit der Erfahrung, des Fahrmodus und der Automationstransparenz in Abbildung 5-13 dargestellt.

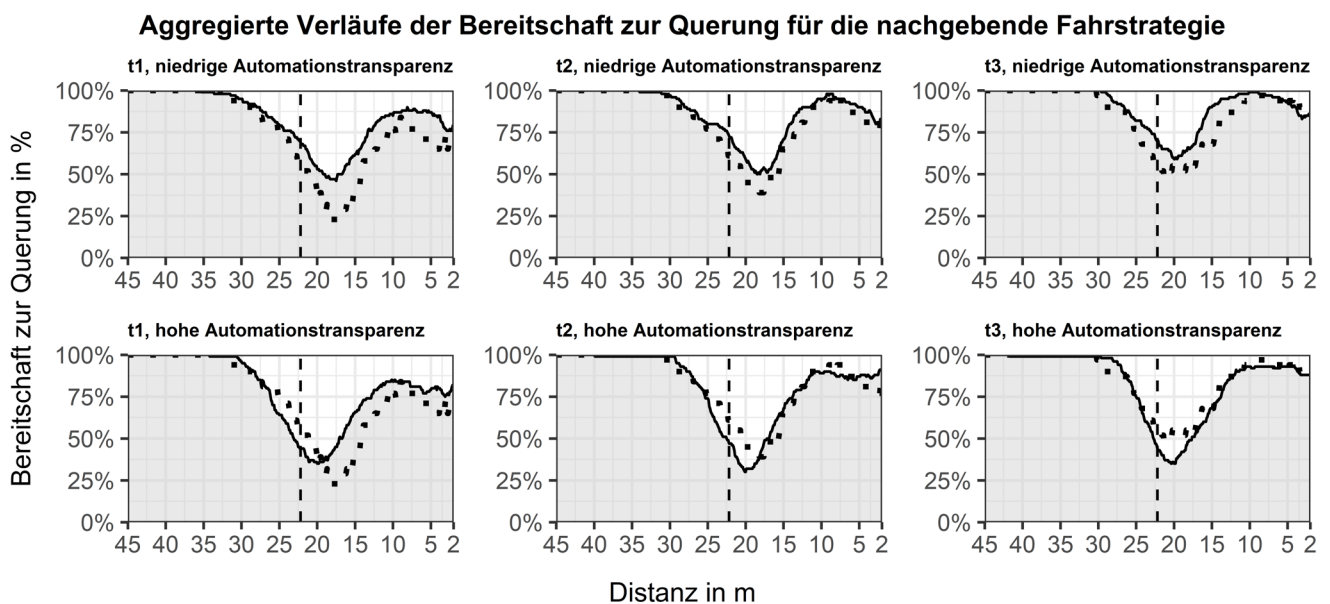


Abbildung 5-13: Bereitschaft der Versuchspersonen zur Initiierung einer Querung vor dem Fahrzeug in % in Abhängigkeit des Abstands zum nachgebenden Pkw in m sowie der Automationstransparenz (Zeilen) und der Erfahrung der Versuchspersonen (Spalten). Der Fahrmodus des hochautomatisierten Pkw ist als durchgezogene Linie, der Fahrmodus des konventionellen Pkws ist als gepunktete Linie dargestellt. Die gestrichelte, vertikale Linie bei 22,2 m markiert die Distanz, bei dem der Pkw anfang zu bremsen. Zusätzlich markiert die gestrichelte, vertikale Linie den Zeitpunkt, bei dem das Signal der Wahrnehmung der Fahrumgebung für die niedrige Automationstransparenz (obere Zeile) oder das Signal der Wahrnehmung der Fahrumgebung und der Intention für die hohe Automationstransparenz (untere Zeile) über die eMMS aktiviert wurde. Nach der Bereinigung der Daten wurde der Prozentsatz der Bereitschaft zur Querung für den hochautomatisierten Fahrmodus mit niedriger Automationstransparenz über 165 Wiederholungen an t1, 166 Wiederholungen an t2 und 168 Wiederholungen an t3 berechnet (maximal 17 Versuchspersonen  $\times$  10 Wiederholungen pro Versuchstag). Für den hochautomatisierten Fahrmodus mit hoher Automationstransparenz wurde der Prozentsatz über 135 Wiederholungen an t1, 136 Wiederholungen an t2 und 136 Wiederholungen an t3 berechnet (maximal 14 Versuchspersonen  $\times$  10 Wiederholungen pro Versuchstag). Für den konventionellen Fahrmodus wurde der Prozentsatz über 31 Wiederholungen an t1, t2 und t3 berechnet (maximal 31 Versuchspersonen  $\times$  1 Wiederholungen pro Versuchstag).

(N = 31;  $n_{AT\downarrow}$  = 17;  $n_{AT\uparrow}$  = 14)

Ausgehend von einem Wert von 100 % der Bereitschaft zur Querung in einer Distanz von mindestens 29,6 m zwischen Versuchsperson und Pkw (an Versuchstag t3) fällt die Bereitschaft zur Querung und erreicht ein lokales Minimum in einem Abstand von 17,5 bis 20,4 m zwischen Pkw und Versuchsperson (über alle Versuchstage hinweg). Anschließend steigt die Bereitschaft zur Querung vor dem Pkw mit

---

nachgebender Fahrstrategie an und erreicht im Abstand zwischen 8,8 bis 11,5 m ein lokales Maximum oder Plateau.

Der Kennwert des erstmaligen Abfalls der Kurve der Bereitschaft zur Querung vor dem hochautomatisierten Pkw reduzierte sich für beide Ausprägungen der Automationstransparenz zwischen dem ersten und dritten Versuchstag. Im Abstand von 22,2 m zwischen hochautomatisiertem Pkw und Versuchsperson, in dem der Pkw anfang zu bremsen und das Signal der eMMS aktiviert wurde, beträgt die Bereitschaft zur Querung zum Zeitpunkt t1 69 % (t2: 73 %, t3: 70 %) für die niedrige Automationstransparenz und 44 % (t2: 47 %, t3: 44 %) für die hohe Automationstransparenz. Das lokale Minimum der Kurve der Bereitschaft zur Querung nähert sich mit zunehmender Erfahrung für beide Ausprägungen der Automationstransparenz dem Abstand von 22,2 m an, d. h. die Versuchspersonen reagierten mit zunehmender Erfahrung schneller auf die Aktion des Pkw. Des Weiteren sank die Bereitschaft zur Querung für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz beim lokalen Minimum der Kurve weniger stark ab mit zunehmender Erfahrung.

Die Kurven der Bereitschaft zur Querung erreichen ein zweites lokales Maximum bzw. Plateau im Abstand von ca. 10 m zwischen hochautomatisiertem Pkw und Versuchsperson. Während für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz dieser Wert mit zunehmender Erfahrung zwar zunimmt (t1: 8,8 m; t2: 9,3 m; t3: 11,5 m) dabei aber mit geringer werdendem Abstand zum Fahrzeug erneut abnimmt, bleibt er für die Ausprägung der hohen Automationstransparenz annähernd konstant und unverändert mit geringer werdendem Abstand zwischen Pkw und Versuchsperson (t1: 10,9 m; t2: 10,9 m; t3: 10,5 m).

Die aggregierten Verläufe der Bereitschaft zur Querung für den konventionellen Fahrmodus (gepunktete Linien in Abbildung 5-13) liegen zum Zeitpunkt t1 und einer geringeren Distanz als 17,5 m zwischen konventionellen Pkw und Versuchsperson unter den aggregierten Verläufen des hochautomatisierten Fahrmodus für beide Ausprägungen der Automationstransparenz. Die Versuchspersonen geben zum Zeitpunkt t1 eine geringere Bereitschaft zur Querung vor dem Pkw im konventionellen Fahrmodus an. Für die Zeitpunkte t2 und t3 sind die aggregierten Verläufe der Kurven des konventionellen Fahrmodus annähernd kongruent zu den Verläufen des hochautomatisierten Fahrmodus für beide Ausprägungen der Automationstransparenz.

#### Inferenzstatistische Analyse der Effekte mittels ANOVA

Um die Effekte der Faktoren Erfahrung, Fahrmodus und Automationstransparenz auf den BQS mit inferenzstatistischen Methoden zu untersuchen, wurde eine dreifaktorielle gemischte ANOVA mit ART durchgeführt. Die deskriptiven Kennwerte und Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 5-9 und Abbildung 5-14 zusammengefasst.

Tabelle 5-9: Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD) und Ergebnisse der dreifaktoriellen gemischten ANOVA für die Variable *Bereitschaft zur Querung Score* (BQS)

Automationstransparenz (AT)			Dreifaktorielle gemischte ANOVA						
	niedrig (↓)	hoch (↑)	gesamt	Effekt	F	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	p	η <sub>p</sub> <sup>2</sup>
	MW (SD)	MW (SD)	MW (SD)						
BQS (hochautomatisierter Fahrmodus)				E×FM×AT	2,107	2	145	0,126	-
t1	0,83 (0,11)	0,79 (0,15)	0,81 (0,13)	E×AT	3,135	2	145	<b>0,046</b>	0,041
t2	0,86 (0,11)	0,82 (0,12)	0,84 (0,12)	E×FM	2,080	2	145	0,129	-
t3	0,91 (0,10)	0,83 (0,13)	0,87 (0,12)	AT×FM	0,704	1	145	0,403	-
BQS (konventioneller Fahrmodus)				FM	7,311	1	145	<b>0,008</b>	0,048
t1	0,77 (0,12)	0,73 (0,18)	0,75 (0,15)	E'' <sub>AT↓, FM↑</sub>	6,255	2	32	<b>0,005</b>	0,281
t2	0,89 (0,12)	0,75 (0,14)	0,83 (0,14)	E'' <sub>AT↑, FM↑</sub>	3,376	2	26	<b>0,050</b>	0,206
t3	0,89 (0,12)	0,83 (0,13)	0,86 (0,12)	E'' <sub>AT↓, FM↓</sub>	10,251	2	32	<b>&lt;0,001</b>	0,391
BQS (gesamt)				E'' <sub>AT↑, FM↓</sub>	5,143	2	26	<b>0,013</b>	0,283
t1	0,79 (0,12)	0,76 (0,16)	0,78 (0,14)	Effekt	W			p	r
t2	0,88 (0,12)	0,79 (0,13)	0,83 (0,13)	AT'' <sub>t1, FM↑</sub>	99			0,789	-
t3	0,90 (0,11)	0,83 (0,13)	0,87 (0,12)	AT'' <sub>t2, FM↑</sub>	91,5			0,283	-
				AT'' <sub>t3, FM↑</sub>	81			0,137	-
				AT'' <sub>t1, FM↓</sub>	110,5			0,751	-
				AT'' <sub>t2, FM↓</sub>	57			<b>0,014</b>	0,394
				AT'' <sub>t3, FM↓</sub>	85,5			0,187	-

Anmerkungen. ANOVA = analysis of variance (Varianzanalyse); W = zweiseitiger Wilcoxon-Rangsummentest; AT = Automationstransparenz; BQS = Bereitschaft zur Querung Score; E = Erfahrung; FM = Fahrmodus. E''<sub>X,Y</sub> = einfacher, einfacher Haupteffekt der Erfahrung für Ausprägung X der Automationstransparenz und Ausprägung Y des Fahrmodus; AT''<sub>X,Y</sub> = einfacher, einfacher Haupteffekt der Automationstransparenz für Ausprägung X der Erfahrung und Ausprägung Y des Fahrmodus

(N = 31; n<sub>AT↓</sub> = 17; n<sub>AT↑</sub> = 14)

Der dreifache Interaktionseffekt zwischen den Faktoren *Erfahrung*, *Fahrmodus* und *Automationstransparenz* ist nicht statistisch signifikant ( $F(2, 145) = 2,107$ ;  $p = 0,126$ ), weshalb die zweifachen Interaktionseffekte betrachtet werden.

Aufgrund der nicht statistisch signifikanten Interaktionseffekte zwischen Fahrmodus und Erfahrung sowie zwischen Fahrmodus und Automationstransparenz, kann der *Haupteffekt des Fahrmodus* analysiert werden. Dieser ist statistisch signifikant ( $F(1, 145) = 7,311$ ;  $p = 0,008$ ;  $\eta_p^2 = 0,048$ ), d. h. der BQS unterscheidet sich statistisch signifikant in Abhängigkeit des Fahrmodus des Pkw. Unabhängig von der Erfahrung der Versuchspersonen (t1, t2 und t3) und der Automationstransparenz des hochautomatisierten Pkws (niedrig / hoch) ist der BQS für den hochautomatisierten Pkw ( $MW_{FM↑} = 0,84$ ;  $SD_{FM↑} = 0,12$ ) größer als für den konventionellen Pkw ( $MW_{FM↓} = 0,81$ ;  $SD_{FM↓} = 0,14$ ).

Der Interaktionseffekt zwischen den Faktoren *Erfahrung* und *Automationstransparenz* ( $F(2, 145) = 3,135$ ;  $p = 0,045$ ;  $\eta_p^2 = 0,041$ ) ist statistisch signifikant, weshalb auf die Darstellung der Haupteffekte der Faktoren Automationstransparenz und Erfahrung verzichtet wird und stattdessen einfache Haupteffekte für die einzelnen Ausprägungen der Faktoren berichtet werden. Des Weiteren werden aufgrund des signifikanten Haupteffekts des Fahrmodus die Effekte der Erfahrung für beide Fahrmodi getrennt betrachtet, d. h. es werden einfache, einfache Haupteffekte der Erfahrung und der Automationstransparenz berichtet.



## Bereitschaft zur Querung Score für die nachgebende Fahrstrategie

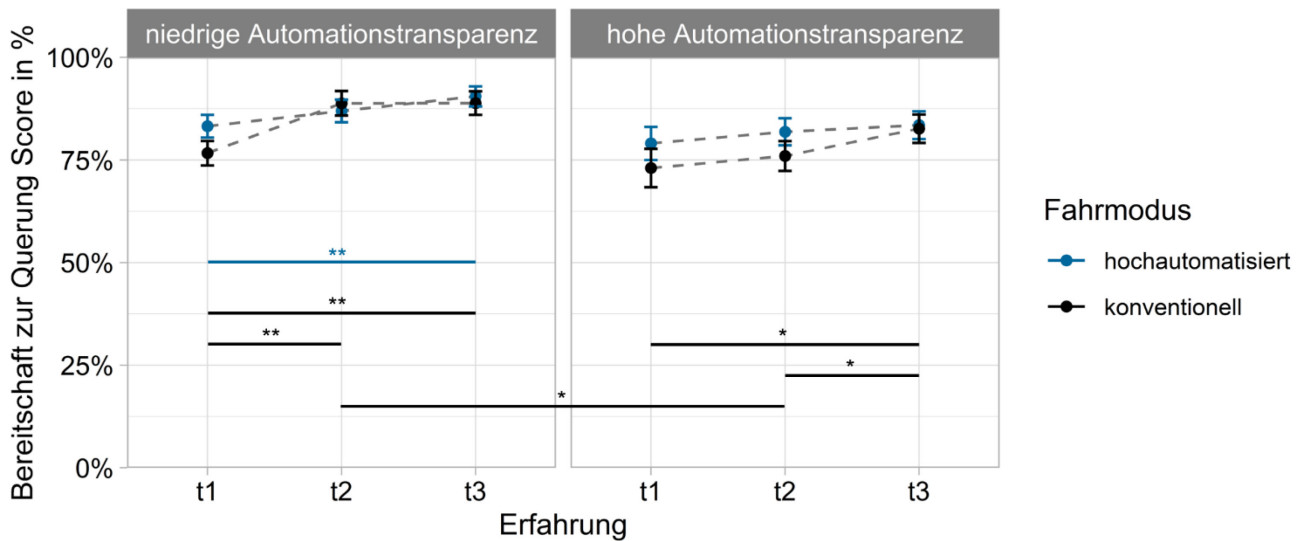


Abbildung 5-14: Liniendiagramm der Ergebnisse zum *Bereitschaft zur Querung Score* (BQS) im Szenario mit nachgebender Fahrstrategie in Abhängigkeit der Erfahrung der Versuchsperson, des Fahrmodus und der Automationstransparenz des hochautomatisierten Pkws. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar. (N = 31;  $n_{AT\downarrow} = 17$ ;  $n_{AT\uparrow} = 14$ )  
\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$  (mit Bonferroni-Holm-Korrektur).

Für den hochautomatisierten Fahrmodus unterscheidet sich der BQS statistisch signifikant in Abhängigkeit der Erfahrung der Versuchsperson für beide Ausprägungen der Automationstransparenz (niedrige Automationstransparenz:  $F(2, 32) = 6,255$ ;  $p = 0,005$ ;  $\eta_p^2 = 0,281$ ; hohe Automationstransparenz:  $F(2, 26) = 3,376$ ;  $p = 0,050$ ;  $\eta_p^2 = 0,206$ ). Post-hoc Tests mit Bonferroni-Holm Korrektur zeigen nur für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz eine statistisch signifikante Erhöhung des BQS zwischen t1 ( $MW_{AT\downarrow,t1} = 0,83$ ;  $SD_{AT\downarrow,t1} = 0,11$ ) und t3 ( $MW_{AT\downarrow,t3} = 0,91$ ;  $SD_{AT\downarrow,t3} = 0,10$ ).

Für den konventionellen Fahrmodus unterscheidet sich der BQS statistisch signifikant in Abhängigkeit der Erfahrung der Versuchsperson für beide Ausprägungen der Automationstransparenz (niedrige Automationstransparenz:  $F(2, 32) = 10,251$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta_p^2 = 0,391$ ; hohe Automationstransparenz:  $F(2, 26) = 5,143$ ;  $p = 0,013$ ;  $\eta_p^2 = 0,283$ ). Post-hoc Tests mit Bonferroni-Holm Korrektur zeigen für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz eine statistisch signifikante Erhöhung des BQS zwischen t1 ( $MW_{AT\downarrow,t1} = 0,77$ ;  $SD_{AT\downarrow,t1} = 0,12$ ) und t2 ( $MW_{AT\downarrow,t2} = 0,89$ ;  $SD_{AT\downarrow,t2} = 0,12$ ) sowie zwischen t1 und t3 ( $MW_{AT\downarrow,t3} = 0,89$ ;  $SD_{AT\downarrow,t3} = 0,12$ ). Für die Ausprägung der hohen Automationstransparenz steigt der BQS statistisch signifikant zwischen t1 ( $MW_{AT\uparrow,t1} = 0,73$ ,  $SD_{AT\uparrow,t1} = 0,18$ ) und t3 ( $MW_{AT\uparrow,t3} = 0,83$ ;  $SD_{AT\uparrow,t3} = 0,13$ ) sowie zwischen t2 ( $MW_{AT\uparrow,t2} = 0,75$ ;  $SD_{AT\uparrow,t2} = 0,14$ ) und t3.

Die Berechnung der einfachen, einfachen Haupteffekte der Automationstransparenz zeigt für den Zeitpunkt t2 und den konventionellen Fahrmodus einen statistisch signifikanten Kontrast zwischen niedriger und hoher Automationstransparenz ( $W = 57$ ;  $p = 0,014$ ;  $r = 0,394$ ; Wilcoxon-Rangsummentest). Für diese Ausprägungen der Erfahrung und des Fahrmodus unterscheidet sich der BQS der niedrigen Automationstransparenz ( $MW_{AT\downarrow,t2} = 0,89$ ;  $SD_{AT\downarrow,t2} = 0,12$ ) statistisch signifikant von

---

dem BQS der hohen Automationstransparenz ( $MW_{AT\uparrow,t2} = 0,75$ ;  $SD_{AT\uparrow,t2} = 0,14$ ). Alle weiteren Kontraste zum einfachen, einfachen Haupteffekt der Automationstransparenz sind nicht statistisch signifikant.

### **Fazit**

Zusammenfassend zeigt sich für die nachgebende Fahrstrategie, dass die Bereitschaft zur Querung vor dem Pkw zunächst sinkt und dann aber steigt, nachdem der Pkw seine nachgebende Intention offenlegt. Im geringer werdenden Abstand (kleiner als 10 m) zwischen Pkw und Versuchsperson erreicht die Bereitschaft zur Querung ein lokales Maximum bzw. stagniert auf dem erreichten Niveau.

Unabhängig von der Erfahrung und der Automationstransparenz des hochautomatisierten Pkws ist der BQS für den hochautomatisierten Pkw größer als für den konventionellen Pkw. Der Effekt der Erfahrung zeigt sich im Anstieg des BQS für den konventionellen Fahrmodus und den hochautomatisierten Fahrmodus mit der Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz. Der BQS unterscheidet sich zu keinem Zeitpunkt statistisch signifikant in Abhängigkeit der Automationstransparenz für den hochautomatisierten Fahrmodus.

### **5.2.3 Vertrauen und Misstrauen in den hochautomatisierten Pkw**

Die Versuchspersonen bewerteten ihr Vertrauen und Misstrauen in den hochautomatisierten Pkw vor Versuchsbeginn ( $t_0$ ) und am Ende jedes Versuchstages ( $t_1$ ,  $t_2$  und  $t_3$ ) auf einer siebenstufigen Likert-Skala (im Wertebereich von 1 - „trifft gar nicht zu“ - bis 7 - „trifft völlig zu“). Ein höherer Wert auf der Skala ist als größeres Vertrauen bzw. Misstrauen in den hochautomatisierten Pkw zu interpretieren.

#### **Vertrauen**

Der arithmetische Mittelwert des Vertrauens in den hochautomatisierten Pkw ist für beide Ausprägungen der Automationstransparenz vor Versuchsbeginn ( $t_0$ ) am geringsten und steigt mit jedem Versuchstag an. Für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz liegt der initiale Messwert vor Versuchsbeginn ( $t_0$ ) bei 4,52 und steigt um 0,61 Punkte an Versuchstag 1 ( $t_1$ ) auf 5,13. An den beiden folgenden Versuchstagen steigt der Wert um 0,13 ( $t_2$ ) und 0,14 ( $t_3$ ) Punkte und erreicht einen Wert von 5,40 für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz zum Abschluss des kontrollierten Feldtests. Die deskriptiven Kennwerte zum Vertrauen sind in Tabelle 5-10 dargelegt.

Für die Ausprägung der hohen Automationstransparenz ist der Anstieg zwischen initialem Messwert vor Versuchsbeginn ( $t_0$ ) und erstem Versuchstag ( $t_1$ ) mit 1,52 Punkten größer als für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz. Für die Ausprägung der hohen Automationstransparenz übersteigt der im Vergleich zur Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz niedrigere initiale Messwert des Vertrauens in das automatisierte System vor Versuchsbeginn ( $t_0$ ;  $MW_{AT\downarrow} = 4,52$ ;  $MW_{AT\uparrow} = 3,90$ ) am ersten Versuchstag ( $t_1$ ;  $MW_{AT\downarrow} = 5,42$ ) die Messwerte des Vertrauens in das automatisierte System für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz an allen folgenden Versuchstagen. Für die

Ausprägung der hohen Automationstransparenz steigt der Messwert an den beiden folgenden Versuchstagen um 0,08 (t2) und 0,24 (t3) Punkte und erreicht einen Wert von 5,74 zum Abschluss des kontrollierten Feldtests.

Die Standardabweichung als Maß für die Streuung der Messwerte liegt für beide Ausprägungen der Automationstransparenz zwischen 0,64 und 0,94 Punkten auf der siebenstufigen Skala.

Um die Effekte der Faktoren Erfahrung und Automationstransparenz auf das Vertrauen in das automatisierte System mit inferenzstatistischen Methoden zu untersuchen, wurde eine zweifaktorielle gemischte ANOVA mit ART durchgeführt. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 5-10 und Abbildung 5-15 zusammengefasst.

Tabelle 5-10: Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD) und Ergebnisse der zweifaktoriellen gemischten ANOVA für die Variable *Vertrauen* (Likert-Skala von 1 - „trifft gar nicht zu“ - bis 7 - „trifft völlig zu“)

	Automationstransparenz (AT)		Zweifaktorielle gemischte ANOVA					
	niedrig (↓)	hoch (↑)	Effekt	F	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	p	η <sub>p</sub> <sup>2</sup>
	MW (SD)	MW (SD)						
Vertrauen in das automatisierte System								
t0	4,52 (0,84)	3,90 (0,74)	E × AT	8,368	3	87	<0,001	0,224
t1	5,13 (0,94)	5,42 (0,90)	E' <sub>AT↓</sub>	9,740	3	48	<0,001	0,378
t2	5,26 (0,88)	5,50 (0,64)	E' <sub>AT↑</sub>	40,288	3	39	<0,001	0,756
t3	5,40 (0,80)	5,74 (0,82)	Effekt	W			p	r
			AT' <sub>E,t0</sub>	71			0,058	-
			AT' <sub>E,t1</sub>	147			0,273	-
			AT' <sub>E,t2</sub>	140			0,414	-
			AT' <sub>E,t3</sub>	156,5			0,141	-

Anmerkungen. ANOVA = analysis of variance (Varianzanalyse); W = zweiseitiger Wilcoxon-Rangsummentest; AT = Automationstransparenz; E = Erfahrung. E' <sub>X</sub> = einfacher Haupteffekt der Erfahrung für Ausprägung X der Automationstransparenz; AT' <sub>X</sub> = einfacher Haupteffekt der Automationstransparenz für Ausprägung X der Erfahrung (N = 31; n<sub>AT↓</sub> = 17; n<sub>AT↑</sub> = 14)

Aufgrund des statistisch signifikanten Interaktionseffekts zwischen den Faktoren *Erfahrung* und *Automationstransparenz* ( $F(3, 87) = 8,368$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta_p^2 = 0,224$ ) wird auf die Darstellung von Haupteffekten verzichtet und stattdessen werden einfache Haupteffekte für die einzelnen Ausprägungen der Faktoren berichtet.

Das Vertrauen in das automatisierte System unterscheidet sich statistisch signifikant in Abhängigkeit der *Erfahrung* der Versuchspersonen für beide Ausprägungen der Automationstransparenz (niedrige Automationstransparenz:  $F(3, 48) = 9,740$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta_p^2 = 0,378$ ; hohe Automationstransparenz:  $F(3, 39) = 40,288$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta_p^2 = 0,756$ ). Post-hoc Tests mit Bonferroni-Holm Korrektur zeigen für jede Ausprägung der Automationstransparenz einen statistisch signifikanten Anstieg des Vertrauens zwischen dem initialen Messwert vor Versuchsbeginn (t0) und allen folgenden Messwerten (zum Zeitpunkt t1, t2 und t3; siehe Abbildung 5-15).

Das Vertrauen in das automatisierte System unterscheidet sich nicht statistisch signifikant in Abhängigkeit der *Automationstransparenz* bei Betrachtung jeder Faktorstufe der Erfahrung.

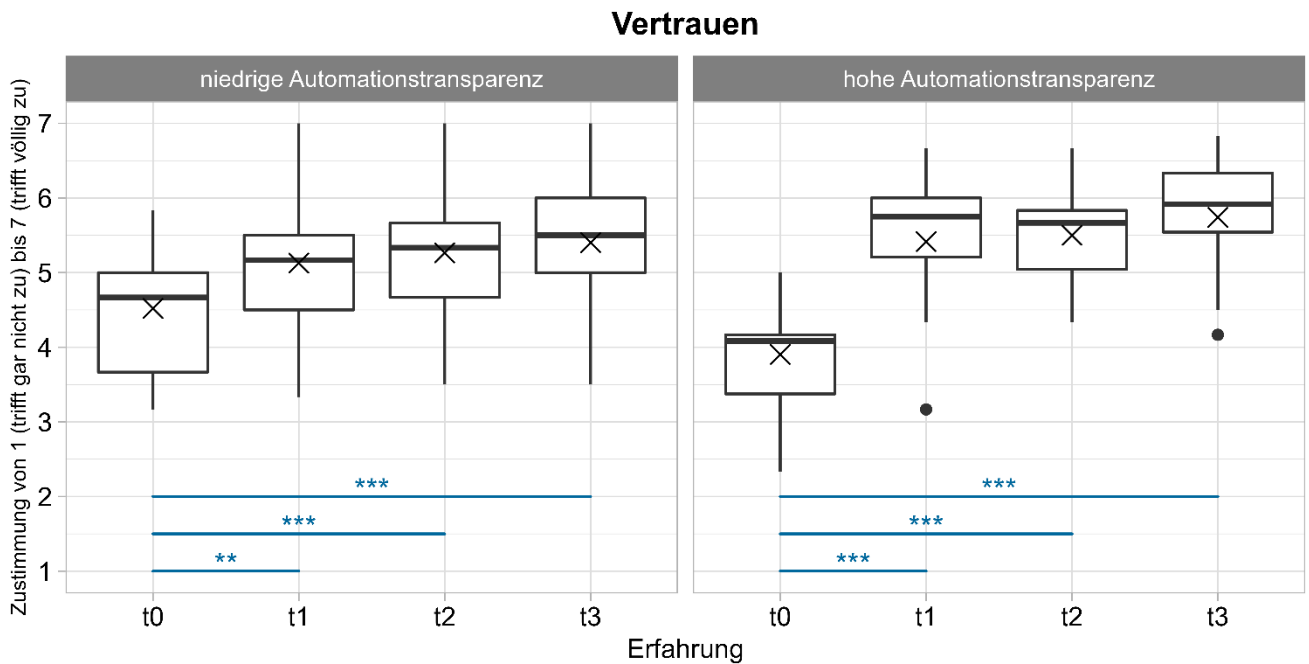


Abbildung 5-15: Boxplots der Ergebnisse zum *Vertrauen* mit zunehmender Erfahrung der Versuchspersonen in Abhängigkeit der Automationstransparenz des hochautomatisierten Pkws (N = 31; n<sub>AT↓</sub> = 17; n<sub>AT↑</sub> = 14)  
 \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001 (mit Bonferroni-Holm-Korrektur)

### Misstrauen

Der arithmetische Mittelwert des Misstrauens in den hochautomatisierten Pkw ist vor Versuchsbeginn (t0) am höchsten und sinkt nach dem ersten Versuchstag (t1) auf ein Minimum für beide Ausprägungen der Automationstransparenz. Der Abfall beträgt für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz 0,86 Punkte (MW<sub>AT↓,t0</sub> = 3,35; MW<sub>AT↓,t1</sub> = 2,49) und für die Ausprägung der hohen Automationstransparenz 1,06 Punkte (MW<sub>AT↑,t0</sub> = 3,54; MW<sub>AT↑,t1</sub> = 2,48). An den nachfolgenden Versuchstagen (t2 und t3) steigt der Wert für beide Ausprägungen der Automationstransparenz geringfügig um 0,13 bis 0,18 Punkte an. Die deskriptiven Kennwerte zum Misstrauen sind in Tabelle 5-11 dargelegt.

Tabelle 5-11: Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD) und Ergebnisse der zweifaktoriellen gemischten ANOVA für die Variable *Misstrauen* (Likert-Skala von 1 - „trifft gar nicht zu“ - bis 7 - „trifft völlig zu“)

	Automationstransparenz (AT)		Zweifaktorielle gemischte ANOVA					
	niedrig (↓)	hoch (↑)	Effekt	F	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	p	η <sub>p</sub> <sup>2</sup>
	MW (SD)	MW (SD)						
Misstrauen in das automatisierte System								
t0	3,35 (0,82)	3,54 (0,72)	E × AT	0,311	3	87	0,817	-
t1	2,49 (0,60)	2,48 (1,01)	E	26,625	3	87	<0,001	0,479
t2	2,62 (0,97)	2,59 (0,90)	AT	0,022	1	29	0,884	-
t3	2,57 (0,86)	2,66 (0,82)						

Anmerkungen. ANOVA = analysis of variance (Varianzanalyse); AT = Automationstransparenz; E = Erfahrung (N = 31; n<sub>AT↓</sub> = 17; n<sub>AT↑</sub> = 14)

Die Standardabweichung als Maß für die Streuung der Messwerte liegt für beide Ausprägungen der Automationstransparenz zwischen 0,60 und 1,01 Punkten auf der siebenstufigen Skala.

Um die Effekte der Faktoren *Erfahrung* und *Automationstransparenz* auf das Misstrauen in das automatisierte System mit inferenzstatistischen Methoden zu untersuchen, wurde eine zweifaktorielle gemischte ANOVA mit ART durchgeführt. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 5-11 und Abbildung 5-16 zusammengefasst.

Der Interaktionseffekt zwischen den Faktoren *Erfahrung* und *Automationstransparenz* ist nicht statistisch signifikant ( $F(3, 87) = 0,311; p = 0,817$ ).

Das Misstrauen in das automatisierte System unterscheidet sich statistisch signifikant in Abhängigkeit der *Erfahrung* der Versuchspersonen ( $F(3, 87) = 26,625; p < 0,001; \eta_p^2 = 0,479$ ). Post-hoc Tests mit Bonferroni-Holm Korrektur zeigen einen statistisch signifikanten Abfall des Misstrauens zwischen dem initialen Messwert vor Versuchsbeginn ( $t_0$ ) und allen folgenden Messwerten (zum Zeitpunkt  $t_1$ ,  $t_2$  und  $t_3$ ; siehe Abbildung 5-16).

Das Misstrauen in das automatisierte System unterscheidet sich nicht statistisch signifikant in Abhängigkeit der *Automationstransparenz* ( $F(1, 29) = 0,022; p = 0,884$ ).

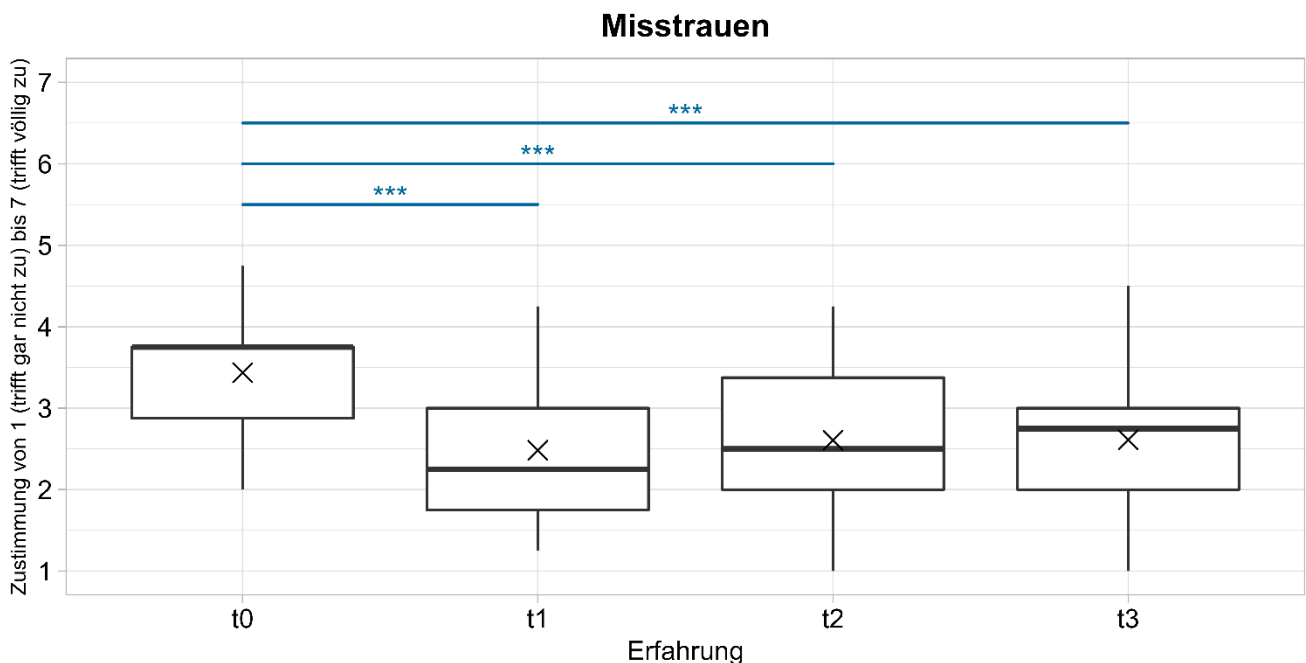


Abbildung 5-16: Boxplots der Ergebnisse zum *Misstrauen* mit zunehmender Erfahrung der Versuchspersonen ( $N = 31$ )  
\*\*\*  $p < 0,001$  (mit Bonferroni-Holm-Korrektur)

## Fazit

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse zum Vertrauen und Misstrauen in den hochautomatisierten Pkw einen statistisch signifikanten Anstieg des Vertrauens und eine statistisch signifikante Reduzierung des Misstrauens zwischen der initialen Messung (vor Versuchsbeginn) und der ersten, zweiten und dritten Messung nach der Interaktion mit dem hochautomatisierten Pkw. Es lässt sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Ausprägungen der Automationstransparenz feststellen. Für das Vertrauen zeigt sich bei der Berechnung von einfachen Haupteffekten des Faktors *Erfahrung* für die beiden Ausprägungen der Automationstransparenz eine größere Effektstärke des Unterschieds für die

---

Ausprägung der hohen Automationstransparenz ( $\eta_p^2 = 0,756$ ) im Vergleich zur Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz ( $\eta_p^2 = 0,378$ ).

#### 5.2.4 Mentales Modell bezüglich des hochautomatisierten Pkw

Die Versuchspersonen bewerteten zwanzig Aussagen bezüglich ihres mentalen Modells eines hochautomatisierten Pkws am Ende jedes Versuchstages (t1, t2 und t3) auf einer siebenstufigen Rating-Skala (im Wertebereich von 1 - „trifft gar nicht zu“ - bis 7 - „trifft völlig zu“). Ein höherer Wert auf der Skala drückt eine stärkere Zustimmung zu der jeweiligen Aussage hinsichtlich der Systemfähigkeiten und Limitationen aus. Die deskriptiven und inferenzstatistischen Ergebnisse sind in Tabelle 5-12 auf Seite 103 zusammengefasst.

Konsistent über alle drei Versuchstage hinweg (t1, t2 und t3) stimmen die Versuchspersonen der Aussage zu, dass der hochautomatisierte Pkw die Fähigkeit zur Ausführung von lateralen (Item-Nr. 1, Mdn = 7) und longitudinalen Bewegungen (Item-Nr. 2, Mdn = 6) hat. Die Zustimmung zur Aussage, dass der hochautomatisierte Pkw eine Notbremsung durchführen kann (Item-Nr. 3), fällt in der Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz statistisch signifikant höher aus ( $Mdn_{AT\downarrow} = 7$ ) als in der Ausprägung der hohen Automationstransparenz ( $Mdn_{AT\uparrow} = 5$ ;  $F(1, 28) = 8,227$ ;  $p = 0,008$ ;  $\eta_p^2 = 0,227$ ). Hinsichtlich der Überwachung der Fahrumgebung erreicht die Zuschreibung der Systemfähigkeiten „Unterscheidung von verschiedenen Typen von Fußgänger/-innen“ (Item-Nr. 4, Mdn = 3) und „Erkennung der Blickrichtung von Fußgänger/-innen“ (Item-Nr. 7, Mdn = 3) geringe Zustimmungswerte für beide Ausprägungen der Automationstransparenz. Demgegenüber stimmen die Versuchspersonen (tendenziell) den Aussagen zu, dass der hochautomatisierte Pkw zu Fuß Gehende von anderen Verkehrsteilnehmenden unterscheiden kann (Item-Nr. 5, Mdn = 5), statische Objekte in der Fahrumgebung erkennt (Item-Nr. 6, Mdn = 6) und die Straßenverkehrsordnung einhält (Item-Nr. 10, Mdn = 6).

Die Zustimmung zur Aussage, dass der hochautomatisierte Pkw entscheidet, zu Fuß Gehende queren zu lassen (Item-Nr. 8), ist unter den Versuchspersonen, die eine hohe Automationstransparenz des hochautomatisierten Pkws erleben, statistisch signifikant größer ( $Mdn_{AT\uparrow} = 6$ ) als unter den Versuchspersonen, die eine niedrige Automationstransparenz erleben ( $Mdn_{AT\downarrow} = 5$ ;  $F(1, 29) = 11,991$ ;  $p = 0,002$ ;  $\eta_p^2 = 0,293$ ). Gleichmaßen ist die Zustimmung zur negierten Aussage („entscheidet zu Fuß Gehende nicht queren zu lassen“ – Item-Nr. 9), statistisch signifikant stärker ausgeprägt für die Gruppe der hohen Automationstransparenz ( $Mdn_{AT\uparrow} = 6$ ) im Vergleich zur Gruppe der niedrigen Automationstransparenz ( $Mdn_{AT\downarrow} = 3$ ;  $F(1, 28) = 19,159$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta_p^2 = 0,406$ ).

Unabhängig von der Ausprägung der Automationstransparenz und der Erfahrung stimmen die Versuchspersonen den Aussagen zu, dass der hochautomatisierte Pkw auf querende zu Fuß Gehende reagieren (Item-Nr. 11, Mdn = 6), im Falle eines Fehlers am Straßenrand stehen bleiben (Item-Nr. 13,

---

Mdn = 5) und ein passendes Manöver aufgrund der Fahrumgebung auswählen kann (Item-Nr. 14, Mdn = 5). Die Aussage, dass der hochautomatisierte Pkw die Intention von zu Fuß Gehenden erkennt und darauf reagieren kann, wurde weder abgelehnt noch angenommen (Item-Nr. 12, Mdn = 4).

Der Aussage zur Fähigkeit eines hochautomatisierten Pkw einen Verzicht auf Vorrang mit zu Fuß Gehenden zu kommunizieren (Item-Nr. 15), stimmen die Versuchspersonen der hohen Automationstransparenz statistisch signifikant stärker zu ( $Mdn_{AT\uparrow} = 7$ ) im Vergleich zu den Versuchspersonen der niedrigen Automationstransparenz ( $Mdn_{AT\downarrow} = 4$ ;  $F(1, 28) = 23,524$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta_p^2 = 0,457$ ).

In der Kategorie der Systemlimitationen stimmen die Versuchspersonen, unabhängig von der Ausprägung der Automationstransparenz und Erfahrung, den Aussagen tendenziell zu, dass der hochautomatisierte Pkw unter allen Wetterbedingungen funktioniert (Item-Nr. 19, Mdn = 5) und die Fahraufgabe von Anfang bis Ende übernehmen kann (Item Nr. 20, Mdn = 5). Demgegenüber lehnen die Versuchspersonen die Aussagen tendenziell ab, dass der hochautomatisierte Pkw verdeckte zu Fuß Gehende im Straßenverkehr wahrnehmen kann (Item-Nr. 16, Mdn = 3) und stehen der Fähigkeit, dass das System erkennt, wenn es eine Fahrsituation nicht lösen kann, indifferent gegenüber (Item-Nr. 17; Mdn = 4).

Unabhängig von der Ausprägung der Automationstransparenz wird die Aussage, dass der hochautomatisierte Pkw Emotionen von zu Fuß Gehenden interpretieren kann (Item-Nr. 18), tendenziell abgelehnt (Mdn = 2). Für die Versuchspersonen, die eine niedrige Automationstransparenz des hochautomatisierten Pkws erleben, steigt die Zustimmung zu dieser Aussage statistisch signifikant mit zunehmender Erfahrung ( $Mdn_{AT\downarrow,t1} = 2$ ,  $Mdn_{AT\downarrow,t2} = 2$ ,  $Mdn_{AT\downarrow,t3} = 2$ ;  $F(2, 32) = 4,219$ ;  $p = 0,024$ ;  $\eta_p^2 = 0,209$ ).

Lediglich bei Item-Nr. 18 („kann Emotionen von Fußgänger/-innen interpretieren“) hat der Faktor Erfahrung keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Bewertung der Aussagen der Versuchspersonen.

### **Fazit**

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse zum mentalen Modell, dass die Versuchspersonen den hochautomatisierten Pkw in Abhängigkeit der präsentierten Automationstransparenz unterschiedliche Fähigkeiten und Limitationen zuschreiben. Die Gruppe der hohen Automationstransparenz schreibt dem Pkw nicht nur stärkere kommunikative Fähigkeiten zu („kann seinen Verzicht auf Vorrang mit Fußgänger/-innen kommunizieren“), sondern stimmt auch der Aussage zur Entscheidungsfähigkeit des hochautomatisierten Systems stärker zu („entscheidet Fußgänger/-innen queren zu lassen / nicht queren zu lassen“). Demgegenüber bleibt das mentale Modell der Systemfähigkeiten in Abhängigkeit der Erfahrung der Versuchspersonen über die drei Versuchstage stabil und verändert sich nicht signifikant.

Tabelle 5-12: Median (Mdn) in Abhängigkeit der Automationstransparenz und Erfahrung für die Items des Fragebogens zum *mentalen Modell* (Ratingskala von 1 - „trifft gar nicht zu“ - bis 7 - „trifft völlig zu“) sowie Ergebnisse der zweifaktoriellen gemischten ANOVA mit ART

Item (Nr. / Aussage)	Automationstransparenz (AT)		Ergebnisse der zweifaktoriellen gemischten ANOVA
	niedrig (↓)	hoch (↑)	
	Erfahrung t1 / t2 / t3	Erfahrung t1 / t2 / t3	
<i>Das automatisierte System ...</i>	Mdn / Mdn / Mdn	Mdn / Mdn / Mdn	
(1) ... lenkt automatisch.	7 / 7 / 7	7 / 7 / 7	alle Effekte mit $p > 0,05$
(2) ... passt seine Geschwindigkeit automatisch an.	6 / 6 / 7	6 / 6 / 7	alle Effekte mit $p > 0,05$
(3) ... kann eine Notbremsung durchführen.	6,5 / 7 / 7	5 / 5,5 / 5	$\Delta$ $p = 0,008$ ; $\eta_p^2 = 0,227$
(4) ... kann verschiedene Typen von Fußgänger/-innen unterscheiden.	3 / 3 / 3	3,5 / 3 / 2,5	alle Effekte mit $p > 0,05$
(5) ... kann Fußgänger/-innen von anderen Verkehrsteilnehmenden unterscheiden.	5 / 6 / 5	4 / 4 / 4	alle Effekte mit $p > 0,05$
(6) ... erkennt statische Objekte in der Fahrumgebung.	6 / 6 / 6	5 / 5,5 / 5	alle Effekte mit $p > 0,05$
(7) ... erkennt die Blickrichtung von Fußgänger/-innen.	3 / 3 / 3	3 / 3 / 3	alle Effekte mit $p > 0,05$
(8) ... entscheidet Fußgänger/-innen queren zu lassen.	6 / 5 / 5	6 / 6 / 6	$\Delta$ $p = 0,002$ ; $\eta_p^2 = 0,293$
(9) ... entscheidet Fußgänger/-innen nicht queren zu lassen.	3 / 3 / 2,5	5,5 / 6 / 6	$\Delta$ $p < 0,001$ ; $\eta_p^2 = 0,406$
(10) ... hält sich an der Straßenverkehrsordnung.	6 / 6 / 6	6 / 6 / 5,5	alle Effekte mit $p > 0,05$
(11) ... reagiert auf querende Fußgänger/-innen auf der Fahrbahn.	6 / 6 / 6	5 / 5,5 / 6	alle Effekte mit $p > 0,05$
(12) ... kann die Absicht von Fußgänger/-innen erkennen und darauf reagieren.	4 / 3,5 / 4	4 / 4 / 4,5	alle Effekte mit $p > 0,05$
(13) ... kann im Fall eines Fehlers am Straßenrand stehen bleiben.	5 / 6 / 6	4 / 5 / 4	alle Effekte mit $p > 0,05$
(14) ... wählt ein passendes Fahrmanöver aufgrund der Fahrumgebung aus.	5 / 5 / 5	4 / 4,5 / 5,5	alle Effekte mit $p > 0,05$
(15) ... kann seinen Verzicht auf Vorrang mit Fußgänger/-innen kommunizieren.	4 / 4 / 4	6,5 / 6,5 / 7	$\Delta$ $p < 0,001$ ; $\eta_p^2 = 0,457$
(16) ... kann verdeckte Fußgänger/-innen wahrnehmen.	2 / 3 / 3	3 / 4 / 3	alle Effekte mit $p > 0,05$
(17) ... erkennt, wenn es eine Situation nicht meistern kann.	4 / 4 / 4	4 / 4 / 4	alle Effekte mit $p > 0,05$
(18) ... kann Emotionen von Fußgänger/-innen interpretieren.	2 / 2 / 2	1 / 1,5 / 1,5	$\Omega$ $p = 0,024$ ; $\eta_p^2 = 0,209$
(19) ... funktioniert bei allen Wetterbedingungen.	5 / 5 / 5	4,5 / 4,5 / 5	alle Effekte mit $p > 0,05$
(20) ... kann die Fahraufgabe immer von Anfang bis Ende übernehmen.	6 / 6 / 5	4 / 5,5 / 5	alle Effekte mit $p > 0,05$

Anmerkungen. ANOVA = analysis of variance (Varianzanalyse); AT = Automationstransparenz;  $\Delta$  = Haupteffekt der Automationstransparenz;  $\Omega$  = einfacher Haupteffekt der Erfahrung für die Ausprägung niedrige Automationstransparenz (N = 31;  $n_{AT\downarrow} = 17$ ;  $n_{AT\uparrow} = 14$ )



## 5.2.5 Lerneffekte

In diesem Kapitel werden Lerneffekte während der Wiederholungen des Versuchs analysiert. Zur deskriptiven Analyse von Lerneffekten der Versuchspersonen während des Versuchs werden für die nicht nachgebende Fahrstrategie Streudiagramme der minimalen Lücke für jede Wiederholung der Interaktion und jeden Versuchstag (t1, t2 und t3; siehe Abbildung 5-17) und für die nachgebende Fahrstrategie Streudiagramme des BQS für jede Wiederholung der Interaktion und jeden Versuchstag (siehe Abbildung 5-18) erstellt.

Für die nicht nachgebende Fahrstrategie zeigt die Berechnung des Spearman-Korrelationskoeffizienten keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der minimalen Lücke und der Wiederholung der Interaktion für jeden Versuchstag (alle  $p > 0,05$ ; siehe Tabelle 5-13).

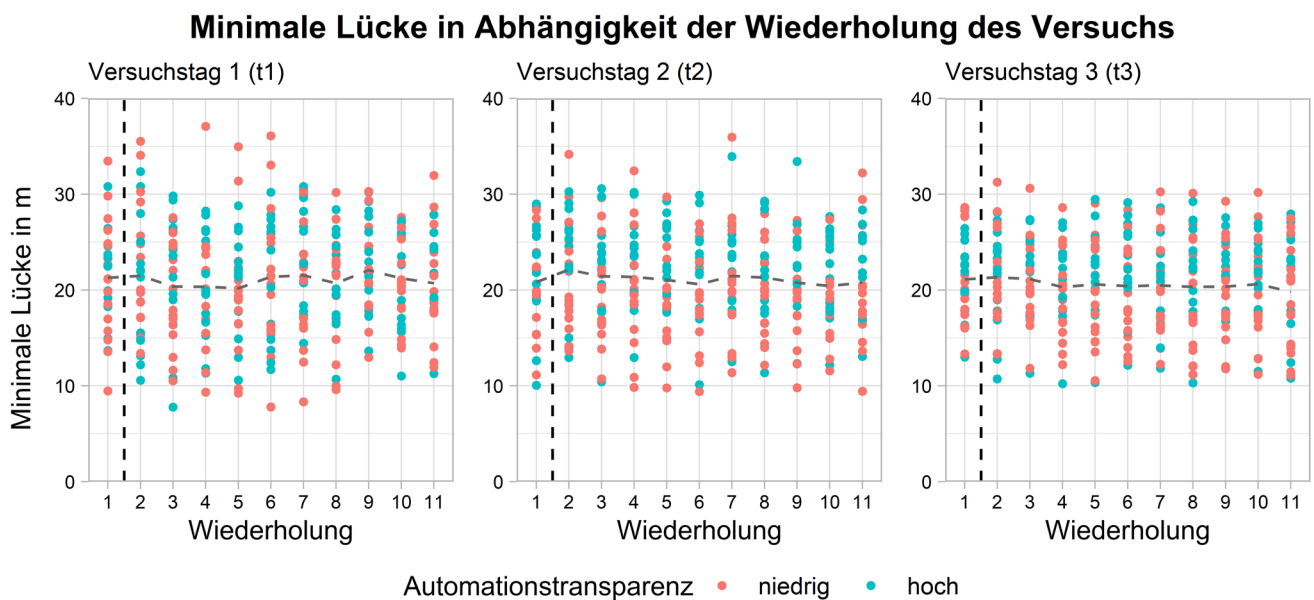


Abbildung 5-17: Minimale Lücke in m zur Initiierung einer Querung vor dem nicht nachgebendem Pkw in Abhängigkeit der Wiederholung des Versuchs und der Erfahrung der Versuchspersonen (Spalten). Die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz ( $AT\downarrow$ ) ist durch blaue Punkte, die Ausprägung der hohen Automationstransparenz ( $AT\uparrow$ ) ist durch orangefarbene Punkte dargestellt. Die gestrichelte, vertikale Linie zwischen erster und zweiter Wiederholung markiert den Zeitpunkt, zu dem der Fahrmodus wechselte (Wiederholung 1 = konventioneller Fahrmodus; Wiederholung 2 bis 11 = hochautomatisierter Fahrmodus). Die graue, gestrichelte Linie verbindet die Mittelwerte für jede Wiederholung. ( $N = 31$ ;  $n_{AT\downarrow} = 17$ ;  $n_{AT\uparrow} = 14$ )

Für die nachgebende Fahrstrategie zeigt die Berechnung des Spearman-Korrelationskoeffizienten einen statistisch signifikanten Zusammenhang des BQS und der Wiederholung der Interaktion für den ersten Versuchstag (t1;  $\rho = 0,118$ ;  $p = 0,032$ ;  $n = 331$ ). Für die nachfolgenden Versuchstage (t2 und t3) ist dieser Zusammenhang nicht statistisch signifikant ( $p > 0,05$ ; siehe Tabelle 5-13).

Tabelle 5-13: Spearman Rangkorrelationskoeffizient ( $\rho$ ) zwischen Versuchswiederholung und minimaler Lücke (für die nicht nachgebende Fahrstrategie) und BQS (für die nachgebende Fahrstrategie) in Abhängigkeit des Versuchstages (N = 31)

Variable 1a:	Versuchstag	Variable 2:	
		Minimale Lücke in m	BQS
Wiederholung (1 – 11)	t1	$\rho = 0,030; p = 0,588; n = 334$	$\rho = 0,118; p = \mathbf{0,032}; n = 331$
	t2	$\rho = -0,056; p = 0,307; n = 333$	$\rho = 0,034; p = 0,531; n = 333$
	t3	$\rho = -0,060; p = 0,267; n = 340$	$\rho = 0,040; p = 0,465; n = 335$
Wiederholung (2 – 11)	t1	$\rho = 0,044; p = 0,445; n = 303$	$\rho = 0,071; p = 0,219; n = 300$
	t2	$\rho = -0,072; p = 0,211; n = 302$	$\rho = 0,015; p = 0,798; n = 302$
	t3	$\rho = -0,057; p = 0,322; n = 309$	$\rho = 0,026; p = 0,653; n = 304$

Bei isolierter Betrachtung der Wiederholungen des Versuchs für den hochautomatisierten Fahrmodus (Wiederholung 2 – 11) am ersten Versuchstag zeigt sich keine statistisch signifikante Korrelation zwischen Wiederholung der Interaktion und BQS (t1, nur hochautomatisierter Fahrmodus;  $\rho = 0,071; p = 0,219; n = 300$ ). Alle weiteren Zusammenhänge zwischen Wiederholung 2 bis 11 und Bereitschaft zur Querung sind ebenfalls nicht signifikant (siehe Tabelle 5-13; unterer Teil)

### Bereitschaft zur Querung Score in Abhängigkeit der Wiederholung des Versuchs

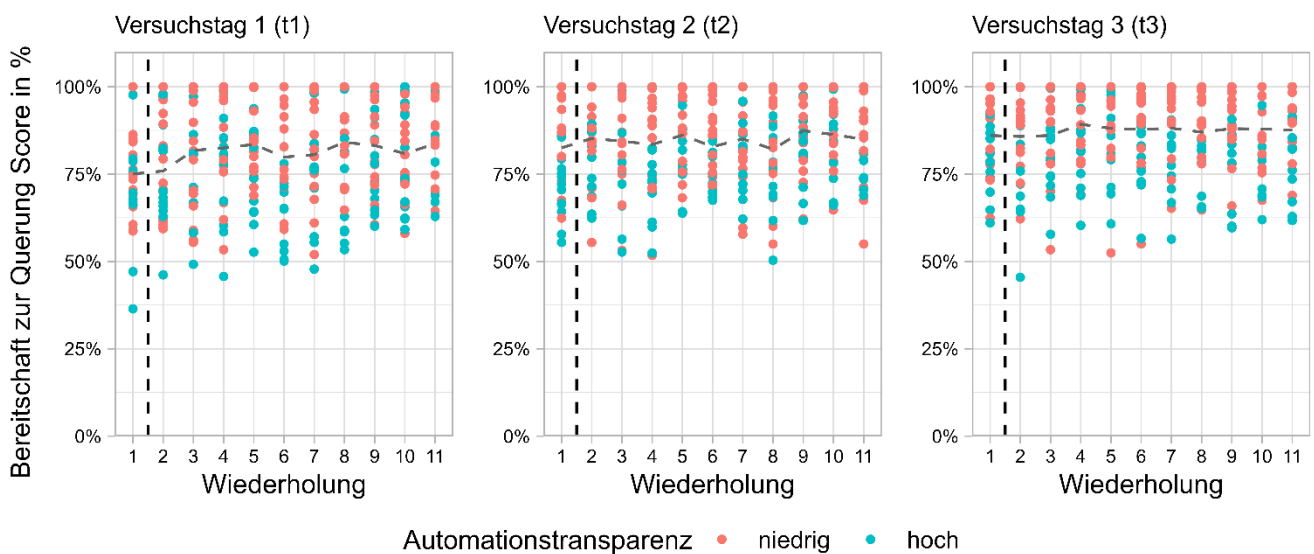


Abbildung 5-18: Bereitschaft zur Querung Score in % zur Initiierung einer Querung vor dem nachgebenden Pkw in Abhängigkeit der Wiederholung des Versuchs und der Erfahrung der Versuchspersonen (Spalten). Die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz (AT↓) ist durch blaue Punkte, die Ausprägung der hohen Automationstransparenz (AT↑) ist durch orangefarbene Punkte dargestellt. Die gestrichelte, vertikale Linie zwischen erster und zweiter Wiederholung markiert den Zeitpunkt, zu dem der Fahrmodus wechselte (Wiederholung 1 = konventioneller Fahrmodus; Wiederholung 2 bis 11 = hochautomatisierter Fahrmodus). Die graue, gestrichelte Linie verbindet die Mittelwerte für jede Wiederholung. (N = 31; n<sub>AT↓</sub> = 17; n<sub>AT↑</sub> = 14)

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse zu den Lerneffekten, dass das Kollektiv der Versuchspersonen die Bereitschaft zur Querung sowohl bei der nicht nachgebenden als auch bei der nachgebenden Fahrstrategie während den Wiederholungen an einem Versuchstag nicht ändern. Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse deuten darauf hin, dass eine positive Veränderung des BQS für die nachgebende

Fahrstrategie am ersten Versuchstag nur zwischen dem Wechseln vom konventionellen zum hochautomatisierten Fahrmodus stattfand.

### 5.2.6 Zusammenhang von Vertrauen und der Bereitschaft zur Querung

Der Zusammenhang von Vertrauen bzw. Misstrauen in das automatisierte System und der Bereitschaft zur Querung wurde, getrennt nach der Fahrstrategie (nicht nachgebend und nachgebend), über lineare Regressionsmodelle geprüft.

Es zeigt sich, dass im Szenario mit nachgebender Fahrstrategie ein statistisch signifikanter Zusammenhang von dem *BQS* am ersten Versuchstag ( $t_1$ ) auf das *initial erlernte Vertrauen* vor Versuchsbeginn ( $t_0$ ) besteht ( $B = 0,06$ ;  $F(1, 29) = 4,653$ ;  $p = 0,039$ ; korrigiertes  $R^2 = 0,11$ ). Dieser Zusammenhang ist als Streudiagramm mit Regressionsgeraden in Abbildung 5-19 dargestellt.

Alle weiteren Regressionsmodelle beider Fahrstrategien sind nicht statistisch signifikant. Die vollständigen Ergebnisse der Regressionsanalyse können in tabellarischer Form dem Anhang G entnommen werden.

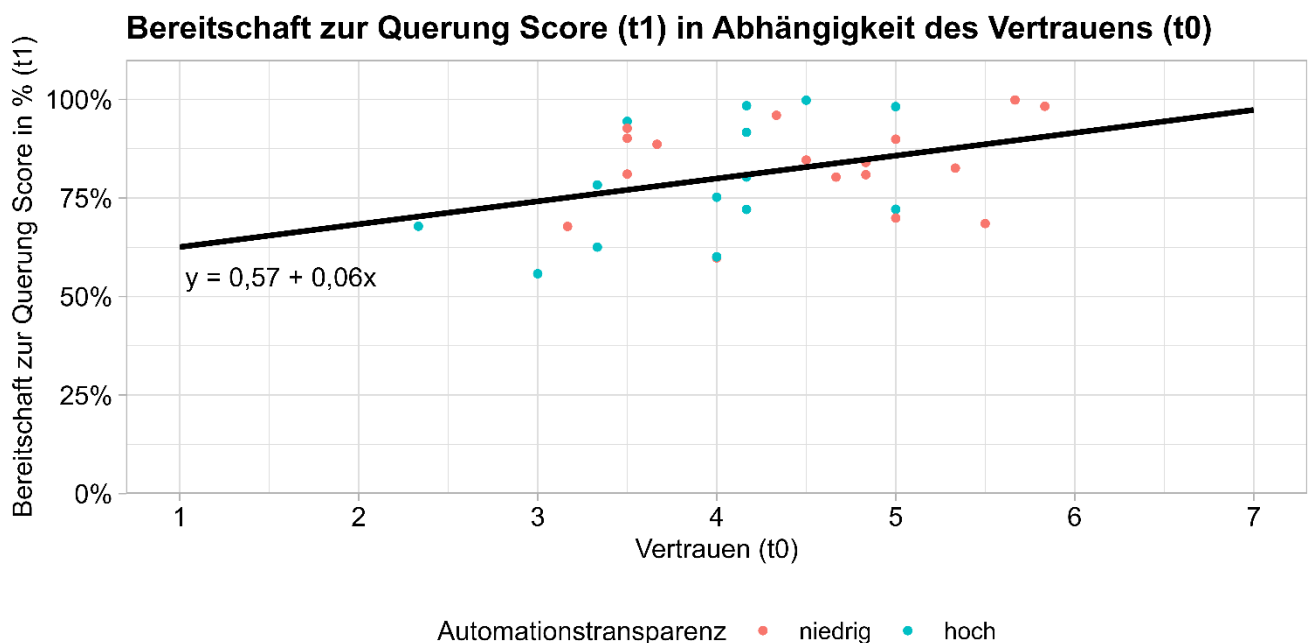


Abbildung 5-19: Regression des *Bereitschaft zur Querung Scores (BQS)*  $\{t_1\}$  auf das initial erlernte *Vertrauen in den hochautomatisierten Pkw*  $\{t_0\}$  (im Wertebereich von 1 - „trifft gar nicht zu“ - bis 7 - „trifft völlig zu“). Das lineare Regressionsmodell ( $y = 0,57 + 0,06x$ ) ist statistisch signifikant ( $F(1, 29) = 4,653$ ;  $p = 0,039$ ; korrigiertes  $R^2 = 0,11$ ). Die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz ( $AT\downarrow$ ) ist durch blaue Punkte, die Ausprägung der hohen Automationstransparenz ( $AT\uparrow$ ) ist durch orangefarbene Punkte dargestellt.

( $N = 31$ ;  $n_{AT\downarrow} = 17$ ;  $n_{AT\uparrow} = 14$ )

### 5.2.7 Post-hoc Interviews

Die Antworten der Versuchspersonen in den post-hoc Interviews wurden klassifiziert und entsprechend der Fragestellungen zum Einfluss des hochautomatisierten Fahrmodus auf die Entscheidung zur Querung einer Straße vor einem Pkw und zum Vertrauen in hochautomatisierte Pkw ausgewertet.

## Hochautomatisierter Fahrmodus

Die im post-hoc Interview genannten Aussagen zum Einfluss des hochautomatisierten Fahrmodus auf die Entscheidung, eine Straße zu queren, sind in Abhängigkeit der Automationstransparenz in Tabelle 5-14 zusammengefasst.

Dreizehn Versuchspersonen geben an, dass der Fahrmodus keinen Einfluss auf ihre Entscheidung zur Querung einer zweistreifigen Straße hat. Ein größerer Anteil von Versuchspersonen der Gruppe der niedrigen Automationstransparenz (58,8 %), als der Gruppe der hohen Automationstransparenz (21,4 %), sind dieser Antwortkategorie zugeordnet. Innerhalb dieser Antwortkategorie führen die Versuchspersonen aus, dass der Fahrmodus keinen Einfluss auf ihre Entscheidung nimmt, weil das System „Pkw“ unverändert ist. Sie argumentieren, dass ihre Aufgabe der Straßenquerung nicht vom Fahrmodus des Pkw abhängt („Nein, es würde keinen Unterschied machen. Weil man sowohl von einem Menschen als auch von einem automatisierten Pkw wahrgenommen wird. Und es eben klar wird, ob man die Straße überqueren kann oder nicht.“; männlich, 23 Jahre, t1, AT↑) oder aus keinem der beiden Fahrmodi ein Vor- oder Nachteil bei der Straßenquerung entsteht („(...) hat quasi Vor- und Nachteile, dass man einen menschlichen Fahrer hat. Deshalb würde ich sagen: gleichgestellt.“; weiblich, 25 Jahre, t2, AT↓). Des Weiteren wird spezifiziert, dass etablierte Entscheidungsheuristiken bei der Straßenquerung, bestehend aus Abstand und Geschwindigkeit des herannahenden Pkws, nicht vom Fahrmodus beeinflusst werden („(...) Weil ich, egal ob das Auto jetzt selbst gesteuert wird oder automatisch fährt, die Geschwindigkeit und den Abstand gleich einschätzen kann.“; männlich, 23 Jahre, t3, AT↓). Die letztgenannte Argumentation findet sich ausschließlich bei Versuchspersonen, die mit dem hochautomatisierten Pkw in der Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz interagierten.

Tabelle 5-14: Einfluss des hochautomatisierten Fahrmodus auf die Entscheidung zur Querung einer Straße im post-hoc Interview

Antwortkategorien	Automationstransparenz (AT)					
	niedrig (AT↓)		hoch (AT↑)		gesamt	
	n <sub>AT↓</sub>	% <sub>AT↓</sub>	n <sub>AT↑</sub>	% <sub>AT↑</sub>	N	%
Nein, es macht keinen Unterschied	10	58,8	3	21,4	13	41,9
Gleichheit des Systems „Pkw“	7	41,2	3	21,4	10	32,2
Etablierte Entscheidungsheuristiken	3	17,6	0	-	3	9,7
Ja, es macht einen Unterschied	7	41,2	11	78,6	18	58,1
Interaktionsablauf	5	29,4	5	35,7	10	32,3
Automationstransparenz	0	-	4	28,6	4	12,9
Faktor Mensch	2	11,8	2	14,3	4	12,9

*Anmerkungen.* Anzahl der Versuchspersonen in Abhängigkeit der Automationstransparenz. Die Fragestellung lautete: „Versetzen Sie sich bitte gedanklich in das Szenario der Querung einer zweispurigen Straße mit wenig Verkehr. Es kommt Ihnen ein Pkw entgegen. Würde es für Sie einen Unterschied machen, ob der Pkw von einem Menschen gesteuert wird oder ein automatisierter Pkw mit externer Anzeige ist?“. Wechselnde Antworten über die Versuchstage hinweg (2 Fälle) wurden der am häufigsten genannten Antwortkategorie zugeordnet. Die Prozentangabe bezieht sich auf die Spaltensumme.

(N = 31; n<sub>AT↓</sub> = 17; n<sub>AT↑</sub> = 14)

Für 18 Versuchspersonen beeinflusst der Fahrmodus des Pkw die Entscheidung zur Straßenquerung. Zu dieser Antwortkategorie ist ein größerer Anteil der Gruppe der hohen Automationstransparenz

zugeordnet (78,6 %), als der Gruppe der niedrigen Automationstransparenz (41,2 %). Die Versuchspersonen argumentieren, dass der Ablauf einer Interaktion mit einem Pkw im konventionellen Fahrmodus gegenüber einer Interaktion mit einem Pkw im hochautomatisierten Fahrmodus verändert ist („Es würde natürlich einen Unterschied machen, worauf ich achten muss. Weil ich natürlich auf eine externe Anzeige einmal achten muss, einmal ob mich ein Mensch erkennt.“; männlich, 26 Jahre, t2, AT↑). Im Zuge dessen werden von beiden Gruppen der Automationstransparenz sowohl Vorteile (bspw. klare Signale durch die eMMS) als auch Nachteile (bspw. fehlender Blickkontakt zum Menschen) diskutiert. Darüber hinaus wird von vier Versuchspersonen der Gruppe der hohen Automationstransparenz der Vorteil einer transparenten Kommunikation über die eMMS für den Interaktionsablauf explizit hervorgehoben („Weil man das ein bisschen besser einschätzen kann: werde ich jetzt gelassen oder wird das Auto nur zufällig langsamer, wenn ein Mensch dahinter sitzt. Wenn man diese Anzeige hat, dann kann man sich ein bisschen sicherer sein, was der Gedanke dahinter ist.“; männlich, 24 Jahre, t2; AT↑). Vier Versuchspersonen diskutieren Vor- und Nachteile des Faktor Mensch als Element des Fahrmodus. Von drei Versuchspersonen werden vorwiegend Risiken bei der Straßenquerung vor einem konventionellen Pkw als zu Fuß gehende Person genannt, die im hochautomatisierten Fahrmodus ausgeschlossen werden (bspw. unaufmerksame Fahrende). Demgegenüber hebt eine Versuchsperson der Gruppe der hohen Automationstransparenz die kognitiven Fähigkeiten des Menschen als fahrende Person als Vorteil gegenüber einem hochautomatisierten Pkw hervor.

### Vertrauen in den hochautomatisierten Pkw

Die im post-hoc Interview genannten Faktoren, die das Vertrauen der Versuchspersonen des kontrollierten Feldtests in den hochautomatisierten Pkw beeinflussen, sind in Abhängigkeit der Automationstransparenz in Tabelle 5-15 zusammengefasst.

Tabelle 5-15: Einflussgrößen des Vertrauens in den hochautomatisierten Pkw im post-hoc Interview

Einflussgrößen	Automationstransparenz (AT)					
	niedrig (AT↓)		hoch (AT↑)		gesamt	
	n <sub>AT↓</sub>	% <sub>AT↓</sub>	n <sub>AT↑</sub>	% <sub>AT↑</sub>	N	%
Technologie-Vertrauen	7	41,2	2	14,3	9	29,0
Automationstransparenz	2	11,8	8	57,1	10	32,3
Interaktionserfahrung	3	17,6	4	28,6	7	22,6
Zulassung / Tests	5	29,4	0	-	5	16,1

*Anmerkungen.* Anzahl der Versuchspersonen in Abhängigkeit der Automationstransparenz. Die Fragestellung lautete: „Würden Sie als Fußgänger/-in einem automatisierten Pkw mit externer Anzeige im Straßenverkehr vertrauen?“. Wechselnde Antworten über die Versuchstage hinweg (6 Fälle) wurden der am häufigsten genannten Antwortkategorie zugeordnet. Die Prozentangabe bezieht sich auf die Spaltensumme.

(N = 31; n<sub>AT↓</sub> = 17; n<sub>AT↑</sub> = 14)

Insgesamt sechs Versuchspersonen bestehend aus jeweils drei Versuchspersonen aus der Gruppe der niedrigen Automationstransparenz (17,6 %) und der hohen Automationstransparenz (21,4 %) geben an, dass sie dem hochautomatisierten Fahrmodus des Pkw mehr misstrauen als vertrauen. Sie begründen

---

dies mit einem generellen Misstrauen in die Technologie und/oder (weiterhin) fehlender Interaktionserfahrung („Weil man kennt das noch nicht so richtig und weiß nicht, wie weit und wie zuverlässig die Technologie ist. Also man hat noch nicht so viel Erfahrungen damit gemacht.“; männlich, 22 Jahre, t1, AT↑). Demgegenüber wird von 25 Versuchspersonen tendenziell ein Vertrauen in den hochautomatisierten Pkw angegeben. Vertrauen in die Technologie des automatisierten Fahrens wird von 41,2 % der Versuchspersonen der Gruppe der niedrigen Automationstransparenz und von 14,3 % der Versuchspersonen der hohen Automationstransparenz als wesentliche Einflussgröße auf ihr Vertrauen in den hochautomatisierten Pkw angegeben („Ja. Weil ich der Technik vertraue, weil ich dem vertraue, was das Auto macht.“; männlich, 23 Jahre, t3, AT↓).

Als weiterer vertrauensbeeinflussender Faktor wird die Automationstransparenz des hochautomatisierten Pkw genannt. Diesbezüglich werden überwiegend von Versuchspersonen der Gruppe der hohen Automationstransparenz die Vorteile einer eMMS für die Kommunikation im Straßenverkehr hervorgehoben („Ja. Man kann genau ablesen, im Gegensatz zu einem normal gesteuerten Pkw, was das Auto denkt, was es tun wird. Es wird sich verlässlich nicht mehr umentscheiden und mir rechtzeitig anzeigen, wenn ich übergehen kann.“; weiblich, 22 Jahre, t3, AT↑). Dabei wird von einer Versuchsperson der Einfluss der impliziten Kommunikation im Zusammenspiel mit expliziten Signalen über eine eMMS thematisiert: „Wenn ich merke, er wird langsamer und erkennt mich, dann würde ich mich sicher fühlen, wenn er aber natürlich auf mich zufahren würde und schon von weitem das Blinken einschalten würde, würde ich, glaube ich, nicht darauf vertrauen. Weil ich einfach immer sehen muss, dass die Reaktion, im Sinne von – der Wagen wird langsamer – das würde für mich die größte Rolle spielen. Dass ich sehe nicht nur an LEDs, sondern am Fahrverhalten, dass er mich erkennt.“ (männlich, 26 Jahre, t1, AT↑).

Die Interaktionserfahrung mit dem hochautomatisierten System wird an allen Versuchstagen als vertrauensgebender Einflussfaktor in den hochautomatisierten Pkw von den Versuchspersonen genannt („Weil ich es getestet habe und das Gefühl hatte, dass es das richtige macht und mich immer erkennt. Deswegen würde ich mich sicher fühlen, wenn es mir begegnet.“; weiblich, 22 Jahre, t1, AT↑).

Ausschließlich von Versuchspersonen der Gruppe der niedrigen Automationstransparenz wird die Zulassung des hochautomatisierten Fahrens durch Gesetzgebung und Behörden sowie durch Tests von herstellenden und betreibenden Unternehmen von automatisierten Fahrzeugen als vertrauensgebende Einflussgröße genannt („Ja. (...) Weil ich der Meinung bin, (...) wenn ich dem Auto im Straßenverkehr begegnen würde, dass es da nicht fahren dürfte, wenn es nicht ausreichend getestet worden ist, von den Autoherstellern. Und so ein gewisses Grundvertrauen habe ich dann. Einerseits von den Gesetzgebern aus, der bestimmte Regularien hat und gesagt wird: das und das muss eingehalten sein, so und so viel muss getestet sein, die und die Fälle müssen beachtet werden, mit dem Wetter. Die und die Sonderfälle. Von daher hätte ich da Vertrauen.“; männlich, 21 Jahre, t3, AT↓).

---

## 5.3 Diskussion von Ergebnissen und Methode des kontrollierten Feldtests

In einem kontrollierten Feldtest wurden die Effekte der Erfahrung, des Fahrmodus und der Automationstransparenz auf die Bereitschaft zur Querung, das Vertrauen und das mentale Modell von zu Fuß Gehenden bezüglich der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw untersucht. Nachfolgend werden die zentralen Ergebnisse und die Methode des kontrollierten Feldtests diskutiert. Das Kapitel gliedert sich nach den Hypothesen zum Fragenkomplex Mensch und Automation.

### 5.3.1 Effekte der Erfahrung

Die zentralen Ergebnisse des kontrollierten Feldtests zeigen, dass die Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw in Abhängigkeit der Fahrstrategie und der Automationstransparenz des Pkw mit dem Anstieg von Erfahrung zunimmt (Beibehalten von Hypothese M1). Des Weiteren steigt das Vertrauen und sinkt das Misstrauen in hochautomatisierte Pkw mit zunehmender Interaktionserfahrung von zu Fuß Gehenden (Beibehalten von Hypothesen M2a und M2b). Das initiale Vertrauen in den hochautomatisierten Pkw der zu Fuß Gehenden steht nur für die Fahrstrategie des nachgebenden Pkw in einem positiven Zusammenhang mit der Bereitschaft zur Querung am ersten Versuchstag (Beibehalten von Hypothese M3a und Ablehnen von Hypothese M3b). Für das mentale Modell bezüglich hochautomatisierter Pkw zeigt die Untersuchung im kontrollierten Feld keinen Effekt der Erfahrung, d. h. das mentale Modell verändert sich nicht mit dem Anstieg an Erfahrung der zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw (Ablehnen von Hypothese M4). Diese zentralen Ergebnisse werden im Folgenden im Detail diskutiert.

#### **Effekte der Erfahrung auf die Bereitschaft zur Querung vor hochautomatisierten Pkw**

Der Effekt der Erfahrung wird für die beiden Fahrstrategien des Pkw getrennt diskutiert.

##### Szenario: Pkw mit nicht nachgebender („non-yielding“) Fahrstrategie

Die minimale Lücke wurde als Indikator für die Bereitschaft zur Querung im Szenario mit nicht nachgebender Fahrstrategie für die inferenzstatistische Analyse verwendet (vgl. Das et al., 2005). Die Analyse zeigt, dass die Erfahrung statistisch signifikant mit der Ausprägung der Automationstransparenz interagiert (zweifacher Interaktionseffekt) und für beide Ausprägungen der Automationstransparenz statistisch signifikante einfache Haupteffekte der Erfahrung mit mittleren Effektgrößen vorliegen. Die Berechnungen der Kontraste zeigen hingegen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den drei Versuchstagen für den hochautomatisierten Pkw. Auch die deskriptive Analyse der aggregierten Kurven der Bereitschaft zur Querung für die nicht nachgebende Fahrstrategie zeigt annähernd kongruent abfallende Verläufe der Bereitschaft zur Querung mit abnehmender Distanz zwischen Pkw und Versuchsperson über alle Versuchstage hinweg.

---

Die durchschnittliche minimale Lücke für beide Ausprägungen der Automationstransparenz liegt für den Pkw mit nicht nachgebender Fahrstrategie zwischen 19,95 m und 22,74 m. Bei der im Versuch gefahrenen Geschwindigkeit von 18,8 km/h korrespondieren diese Abstände mit einer minimalen TTA von 3,8 s bis 4,4 s. Dieses Ergebnis ist im Einklang mit der videobasierten Laborstudie von Beggiato et al. (2018), die im Untersuchungsszenario eines Parkplatzes und für die Fahrzeuggeschwindigkeit von 20 km/h, eine minimale TTA im Median von 2,5 s bis 5 s für die Entscheidung zur Querung von zu Fuß Gehenden ermitteln. Abweichungen der vorliegenden Ergebnisse zur minimalen TTA von Lückenakzeptanzuntersuchungen in der Literatur können u. a. vor dem Hintergrund einer Konfundierung des Verkehrsszenarios (vgl. Brewer et al., 2006, für das Untersuchungsszenario einer vierstreifigen Fahrbahn) oder höherer Fahrzeuggeschwindigkeiten (vgl. S. Schmidt & Färber, 2009) interpretiert werden.

Die Ergebnisse der Untersuchung können dahingehend interpretiert werden, dass im Szenario mit nicht nachgebender Fahrstrategie eines hochautomatisierten Pkw keine (bzw. für die statistische Analyse von Kontrasten keine signifikante) kurzfristige Verhaltensanpassung von zu Fuß Gehenden in der Messgröße der minimalen Lücke für den hochautomatisierten Pkw stattfindet. Zurückgeführt werden kann dies auf die Dominanz von impliziten Kommunikationssignalen über die dMMS des hochautomatisierten Pkw im Szenario mit nicht nachgebender Fahrstrategie (vgl. Y. M. Lee et al., 2021). Die Versuchspersonen wendeten etablierte Entscheidungsheuristiken der Lückenakzeptanz in Bezug auf den Fahrzeugabstand und die Fahrzeuggeschwindigkeit an (vgl. Theofilatos et al., 2021) und passten diese Heuristiken nicht innerhalb des Zeitraums des kontrollierten Feldtests an.

#### Szenario: Pkw mit nachgebender („yielding“) Fahrstrategie

Im Gegensatz zu dem Szenario mit nicht nachgebender Fahrstrategie wurde der BQS als Indikator für die Bereitschaft zur Querung im Szenario mit nachgebender Fahrstrategie gewählt (vgl. Clercq et al., 2019). Die Analyse zeigt, dass die Erfahrung statistisch signifikant mit der Ausprägung der Automationstransparenz interagiert (zweifacher Interaktionseffekt) und für beide Ausprägungen der Automationstransparenz statistisch signifikante einfache Haupteffekte der Erfahrung mit großen Effektgrößen vorliegen. Die Berechnungen der Kontraste zeigen eine statistisch signifikante Zunahme des BQS für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz zwischen dem ersten und dritten Versuchstag. Für die Ausprägung der hohen Automationstransparenz sind die Kontraste hingegen nicht statistisch signifikant verschieden zwischen den drei Versuchstagen.

Der BQS, definiert im Intervall von  $[0, 1]$ , erreicht im arithmetischen Mittel für beide Ausprägungen der Automationstransparenz bereits am ersten Versuchstag hohe Werte ( $AT_{\downarrow t_1} = 0,83$ ;  $AT_{\uparrow t_1} = 0,79$ ) und steigt um insgesamt 0,08 bzw. 0,04 Punkte bis zum dritten Versuchstag ( $AT_{\downarrow t_3} = 0,91$ ;  $AT_{\uparrow t_3} = 0,83$ ). Die Versuchspersonen zeigen im kontrollierten Feldtest bereits am ersten Versuchstag eine hohe



---

Bereitschaft zur Querung vor dem hochautomatisierten Pkw mit nachgebender Fahrstrategie und passen ihr Verhalten an den folgenden Versuchstagen nur geringfügig hin zu einer höheren Bereitschaft an. Die Analyse von Lerneffekten durch eine Korrelationsanalyse zeigt, dass diese Anpassung nicht innerhalb der Wiederholungen eines Versuchstags mit dem hochautomatisierten Pkw, sondern zwischen den Versuchstagen stattfindet.

Für das Szenario der nachgebenden Fahrstrategie legen die deskriptiven Kurven einen typischen U-förmigen Verlauf der Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit Pkw offen (vgl. Ackermans et al., 2020; Clercq et al., 2019; Dey et al., 2021; Joisten, Theobald & Abendroth, 2022; Mok et al., 2022). Der Kennwert des erstmaligen Abfalls des aggregierten Verlaufs der Bereitschaft zur Querung reduziert sich zwischen dem ersten und dritten Versuchstag. Dieser Kennwert kann dahingehend interpretiert werden, dass am dritten Versuchstag mehr Versuchspersonen eine geringere Distanz zum Pkw akzeptieren, bevor sie nicht mehr bereit zur Querung sind. Im Einklang mit dieser Interpretation zeigen Faas, Kao und Baumann (2020) in einer videogestützten Laborstudie, dass zu Fuß Gehende mit zunehmender Erfahrung ihre Entscheidung zur Querung vor hochautomatisierten Pkw früher treffen. Weiterhin deutet dieser Befund auf einen Gewöhnungseffekt der Versuchspersonen bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw hin (vgl. Colley et al., 2022) und einer daraus resultierenden steigenden Bereitschaft zur Querung vor hochautomatisierten Pkw mit nachgebender Fahrstrategie.

### **Effekte der Erfahrung auf das Vertrauen und Misstrauen in hochautomatisierte Pkw**

Das Vertrauen der Versuchspersonen in den hochautomatisierten Pkw steigt von der ersten Messung ( $t_0$ ) zu allen nachfolgenden Messungen ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ) statistisch signifikant mit einer großen Effektgröße an. Analog sinkt das Misstrauen von erster zu den nachfolgenden Messungen statistisch signifikant.

Der Anstieg des Vertrauens von der initialen Messung zu der Messung nach der Interaktion mit dem System spiegelt die in der Literatur dokumentierten Erkenntnisse zur Nutzung von hochautomatisierten Fahrzeugen wider (vgl. Andersson et al., 2021; Feys et al., 2021). Der Befund des kontrollierten Feldtests deutet darauf hin, dass der Erstkontakt mit hochautomatisierten Pkw ausschlaggebend für die Kalibrierung bzw. Entwicklung des Vertrauens und Misstrauens von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw ist (vgl. Hartwich et al., 2019). Des Weiteren zeigt das Ergebnis den Stellenwert von Erfahrung für die Entwicklung von Vertrauen und Misstrauen in hochautomatisierte Pkw erneut auf. Bereits in der Interviewstudie dieser Arbeit wurde die Erfahrung als zentrale Einflussgröße auf das Vertrauen in hochautomatisierte Pkw von zu Fuß Gehenden identifiziert.

Am ersten Versuchstag erreicht der arithmetische Mittelwert des Vertrauens in den hochautomatisierten Pkw auf der siebenstufigen Likert-Skala (von 1 - „trifft gar nicht zu“ - bis 7 - „trifft völlig zu“) Werte um den neutralen Wert der Skala von 4 (MW (SD):  $AT\uparrow_{t_0} = 3,90 (0,74)$ ) oder leicht darüberliegende Werte ( $AT\downarrow_{t_0} = 4,52 (0,84)$ ) und erreicht am dritten Versuchstag maximale Werte ( $AT\uparrow_{t_3} = 5,74 (0,82)$ ;  $AT\downarrow_{t_3}$

---

= 5,40 (0,80)). Diese Vertrauenswerte in den hochautomatisierten Pkw liegen über den Ergebnissen zum Vertrauen in der videobasierten Laborstudie von Faas, Kao und Baumann (2020) (MW (SD):  $t_1 = 3,97 (1,24)$ ;  $t_2 = 4,17 (1,44)$ ;  $t_3 = 4,48 (1,42)$ ), was auf einen Unterschied in der Versuchsumgebung und Methodik zurückgeführt werden kann, insbesondere auf die höher gewählte Fahrzeuggeschwindigkeit von 40,23 km/h bei Faas, Kao und Baumann (2020).

Damit einhergehend liegt das arithmetische Mittel des Misstrauens in den hochautomatisierten Pkw bereits am ersten Versuchstag unterhalb des neutralen Wertes der Skala ( $AT_{\downarrow t_0} = 3,35 (0,82)$ ;  $AT_{\uparrow t_0} = 3,54 (0,72)$ ). Das Misstrauen erreicht ein Minimum zum ersten Versuchstag ( $AT_{\downarrow t_1} = 2,49 (0,60)$ ;  $AT_{\uparrow t_1} = 2,48 (1,01)$ ) und unterscheidet sich mit zunehmender Erfahrung der Versuchspersonen nicht statistisch signifikant an den nachfolgenden Versuchstagen ( $t_2$  und  $t_3$ ). Die Mittelwerte zum Misstrauen liegen über den Ergebnissen zum Misstrauen in der videobasierten Laborstudie von Faas, Kao und Baumann (2020) (MW (SD):  $t_1 = 3,09 (1,33)$ ;  $t_3 = 2,59 (1,62)$ ), zeigen jedoch dieselbe abnehmende Tendenz mit zunehmender Erfahrung der Versuchspersonen. Dies kann erneut auf Unterschiede in der Versuchsmethodik, aber auch auf kulturelle Unterschiede zurückgeführt werden (vgl. Joisten, Liu et al., 2021; Singer et al., 2022; Weber et al., 2019), weil Versuchspersonen aus den USA an der Untersuchung von Faas, Kao und Baumann (2020) teilnahmen.

Aussagen zum Übervertrauen in den hochautomatisierten Pkw, das die Versuchspersonen mit zunehmender Erfahrung bei der Interaktion mit dem hochautomatisierten Pkw aufgebaut haben könnten, können nicht sicher getroffen werden, weil der verwendete Fragebogen von Jian et al. (2000) dazu keine Rückschlüsse zulässt. Des Weiteren wurde im kontrollierten Feldtest nur der Effekt der Erfahrung auf das Vertrauen untersucht und keine weiteren vertrauensbeeinflussenden Größen in das Versuchsdesign integriert, wie bspw. Automationsfehler (vgl. Kaleefathullah et al., 2022).

Die Ergebnisse des kontrollierten Feldtests zeigen, dass das initiale Vertrauen ( $t_0$ ) ein Prädiktor des BQS zur nachfolgenden Interaktion ( $t_1$ ) mit dem hochautomatisierten Pkw mit nachgebender Fahrstrategie ist. Dabei ist die Varianzaufklärung im aufgestellten Regressionsmodell mit einem korrigierten Bestimmtheitsmaß von 0,11 als schwach einzustufen. Dies deutet darauf hin, dass weitere Variablen in das Modell einbezogen werden sollten, um den Einfluss des Vertrauens auf die Interaktion mit dem hochautomatisierten System zu ermitteln (vgl. Hancock et al., 2011; Saßmannshausen et al., 2022; Schaefer et al., 2016).

### **Effekte der Erfahrung auf das mentale Modell bezüglich hochautomatisierter Pkw**

Das mentale Modell bezüglich hochautomatisierter Pkw der Versuchspersonen entwickelte sich nicht statistisch signifikant mit zunehmender Erfahrung im kontrollierten Feldtest. Eine Erklärung für diesen Befund kann in der Methodik der Versuche vermutet werden. Weil der hochautomatisierte Pkw nicht von den Erwartungen der zu Fuß gehenden Personen im kontrollierten Feldtest abwich, konnte keine

---

Anpassung des mentalen Modells gegenüber der erstmaligen Erfahrung des Systems stattfinden (vgl. Blömacher et al., 2020). Diese Erkenntnis legt nahe, dass das mentale Modell von zu Fuß Gehenden bezüglich hochautomatisierter Pkw im Zuge von Interaktionen in vielfältigen Verkehrsszenarien entwickelt und nicht signifikant von der Wiederholung ähnlicher Verkehrsszenarien beeinflusst wird.

### 5.3.2 Effekte des Fahrmodus und der Automationstransparenz

Die zentralen Ergebnisse des kontrollierten Feldtests zeigen, dass der Zusammenhang des Anstiegs von Erfahrung und einer höheren Bereitschaft zur Querung nicht stärker ausgeprägt ist für hochautomatisierte Pkw im Vergleich zu konventionellen Pkw (Ablehnen von Hypothese A1).

Des Weiteren beeinflusst eine höhere Automationstransparenz den positiven Zusammenhang zwischen Erfahrung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw und der Bereitschaft zur Querung nicht stärker als eine niedrige Automationstransparenz (Ablehnen von Hypothese A2). Demgegenüber deuten die zentralen Ergebnisse des kontrollierten Feldtests darauf hin, dass eine höhere Automationstransparenz den positiven Zusammenhang zwischen Interaktionserfahrung und Vertrauen in den hochautomatisierten Pkw stärkt (Beibehalten von Hypothese A3a). Dies gilt jedoch nicht für den Zusammenhang von zunehmender Erfahrung und geringerem Misstrauen in den hochautomatisierten Pkw (Ablehnen von Hypothese A3b). Für das mentale Modell bezüglich hochautomatisierter Pkw zeigt die Untersuchung im kontrollierten Feld keinen Effekt der Automationstransparenz auf den Zusammenhang von zunehmender Erfahrung und verändertem mentalem Modell (Ablehnen von Hypothese A4). Nichtsdestotrotz unterscheidet sich die Ausprägung des mentalen Modells in Abhängigkeit der Automationstransparenz. Diese zentralen Ergebnisse werden im Folgenden im Detail diskutiert.

#### **Effekte des Fahrmodus auf die Bereitschaft zur Querung**

Für das Szenario eines *Pkw mit nicht nachgebender Fahrstrategie* wird die Bereitschaft zur Querung bei einer zunehmenden Erfahrung der Versuchspersonen im kontrollierten Feldtest nicht vom Fahrmodus des Pkw beeinflusst (hochautomatisiert vs. konventionell). Die Versuchspersonen machten keinen Unterschied hinsichtlich des Fahrmodus, d. h. für das Szenario mit nicht nachgebender Fahrstrategie interagierten die Personen in gleicher Weise mit dem hochautomatisierten wie mit dem konventionellen Pkw. In Anlehnung an die Diskussion zum Effekt der Erfahrung auf die Bereitschaft zur Querung vor hochautomatisierten Pkw kann dieser Befund auf die Dominanz von etablierten Entscheidungsheuristiken des Fahrzeugabstands und der -geschwindigkeit in der Bereitschaft zur Querung der Versuchspersonen vor Pkw mit nicht nachgebender Fahrstrategie zurückgeführt werden (vgl. Y. M. Lee et al., 2021).

Des Weiteren spiegelt der Befund die Ergebnisse von anderen Untersuchungen im kontrollierten Feld wider (vgl. Clamann et al., 2017; Joisten, Alexandi et al., 2020; Rodríguez Palmeiro et al., 2018;

---

Rothenbucher et al., 2016). Im Gegensatz zu Studien im Labor (vgl. Faas, Kao & Baumann, 2020) bzw. zu online Experimenten (vgl. Razmi Rad et al., 2020) könnten die Versuchspersonen im kontrollierten Feld das Risiko der Querung vor einem Pkw besser eingeschätzt haben (vgl. Fuest et al., 2020), was den statistisch nicht signifikanten Effekt des Fahrmodus auf die Bereitschaft zur Querung vor einem nicht nachgebenden Pkw in Abhängigkeit der Versuchsumgebung erklären könnte.

In den post-hoc Interviews zum kontrollierten Feldtest gaben 13 Versuchspersonen (41,9 %) an, dass der Fahrmodus keinen Einfluss auf die ihre Entscheidung zur Querung einer Straße vor einem Pkw nimmt und begründen dies entweder mit der Gleichheit des Systems „Pkw“ oder mit den oben genannten etablierten Entscheidungsheuristiken. Demgegenüber nimmt der Fahrmodus für 18 Versuchspersonen (58,1 %) einen Einfluss auf ihre Entscheidung zur Querung. Dies deutet darauf hin, dass zu Fuß Gehende Unterschiede in der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw im Vergleich zu konventionellen Pkw wahrnehmen und artikulieren, die sich jedoch nicht kurzfristig auf ihre Bereitschaft zur Querung auswirken.

Für das Szenario eines *Pkw mit nachgebender Fahrstrategie* wird die Bereitschaft zur Querung mit zunehmender Erfahrung der Versuchspersonen im kontrollierten Feldtest statistisch signifikant vom Fahrmodus des Pkw beeinflusst (hochautomatisiert vs. konventionell). Die Werte des BQS liegen am ersten Versuchstag (t1) für beide Ausprägungen der Automationstransparenz und dem hochautomatisierten Fahrmodus über den Werten des konventionellen Fahrmodus (MW (SD): AT↓:  $BQS_{FM\uparrow,t1} = 0,83 (0,11)$ ;  $BQS_{FM\downarrow,t1} = 0,77 (0,12)$ ; AT↑:  $BQS_{FM\uparrow,t1} = 0,79 (0,15)$ ;  $BQS_{FM\downarrow,t1} = (0,73 (0,18))$ ). Bereits am zweiten Versuchstag (t2) gleichen sich die Werte des konventionellen und automatisierten Fahrmodus für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz an (AT↓:  $BQS_{FM\uparrow,t2} = 0,86 (0,11)$ ;  $BQS_{FM\downarrow,t2} = 0,89 (0,12)$ ). Für die Ausprägung der hohen Automationstransparenz gleichen sich die Werte erst am dritten Versuchstag (t3) an (AT↑:  $BQS_{FM\uparrow,t3} = 0,83 (0,13)$ ;  $BQS_{FM\downarrow,t3} = (0,83 (0,13))$ ), während am zweiten Versuchstag (t2) der hochautomatisierte Fahrmodus höhere Werte als der konventionelle Fahrmodus aufweist (AT↑:  $BQS_{FM\uparrow,t2} = 0,82 (0,12)$ ;  $BQS_{FM\downarrow,t2} = (0,75 (0,14))$ ). Dementsprechend ist der Zusammenhang zwischen zunehmender Erfahrung und einer höheren Bereitschaft zur Querung entgegen der postulierten Hypothese stärker für den konventionellen Fahrmodus als für den hochautomatisierten Fahrmodus.

Dieser Befund kann auf das Verhalten des Fahrers im konventionellen Fahrmodus zurückgeführt werden. Der Fahrer stellte keinen Blickkontakt zu den Versuchspersonen her, um eine Referenz zur Versuchskondition der niedrigen Automationstransparenz zu gewähren (geringe Informationsübermittlung) und die Versuchspersonen nicht durch zusätzliche Kommunikation des Fahrers zu beeinflussen. Diese Verhaltensweise des Fahrers im Szenario mit nachgebender Fahrstrategie könnte entgegen der Erwartungen der Versuchspersonen stehen, was sich negativ auf ihre Bereitschaft

---

zur Querung ausgewirkt haben könnte (vgl. Nuñez Velasco et al., 2019). Der Befund deutet auf die Relevanz von Blickkontakt zwischen Pkw-Fahrenden und zu Fuß Gehenden hin (vgl. Onkhar et al., 2022), der zu einer höheren wahrgenommenen Sicherheit für zu Fuß Gehende führen kann.

### **Effekte der Automationstransparenz auf die abhängigen Variablen**

Im kontrollierten Feldtest wurden die Versuchspersonen zwei Gruppen zugeordnet, denen jeweils eine Ausprägung der Automationstransparenz über die eMMS des hochautomatisierten Pkw präsentiert wurden. Während die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz die Information über den Automationsstatus („aktiviert“ / „nicht aktiviert“; vgl. Joisten, Alexandi et al., 2020) vermittelte, signalisierte der hochautomatisierte Pkw in der Ausprägung der hohen Automationstransparenz zusätzlich zur Informationen über den Automationsstatus Informationen zu der Wahrnehmung der Fahrumgebung und zu der Kooperationsfähigkeit. Die Information der Kooperationsfähigkeit wurde nur im Szenario mit nachgebender Fahrstrategie als Intention zum Nachgeben kommuniziert.

Im Hinblick auf die **Bereitschaft zur Querung** hatte die Information zur Wahrnehmung der Fahrumgebung im Szenario *mit nicht nachgebender Fahrstrategie* keinen Einfluss auf die minimale Lücke. Die Versuchspersonen interpretierten das Signal der eMMS im kontrollierten Feldtest nicht als kooperative Handlung des hochautomatisierten Pkw im Sinne der Intention zum Nachgeben. Weil die Instruktion der Versuchspersonen an jedem Versuchstag wiederholt wurde, ist dieser Befund nicht unmittelbar zu generalisieren. Um eine Verwechslung von eMMS Signalen von zu Fuß Gehenden zu verhindern, sollten die Signale hinsichtlich ihrer Informationsbedeutung ausreichend verschieden sein (vgl. Ezzati Amini et al., 2021)

Im Szenario *mit nachgebender Fahrstrategie* zeigte sich kein stärkerer Zusammenhang des Anstiegs von Erfahrung mit einer größeren BQS für eine hohe Automationstransparenz ( $\eta_p^2 = 0,206$ ) im Vergleich zur einer niedrigen Automationstransparenz ( $\eta_p^2 = 0,281$ ). In Abgrenzung zu Studien, die positive Effekte einer hochtransparenten eMMS auf die Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden zeigen (bspw. Faas, Kao & Baumann, 2020; Singer et al., 2022; Wilbrink et al., 2021), kann dieser Effekt in dieser Arbeit auf die Operationalisierung der Automationstransparenz als Zwischensubjektvariable zurückgeführt werden. So konnten die Versuchspersonen keine Präferenz zwischen den Ausprägungen der Automationstransparenz bilden (vgl. Forke et al., 2021). Gleichzeitig wurden die Versuchspersonen in der Gruppe der hohen Automationstransparenz hinsichtlich zwei weiterer Informationen über die eMMS des hochautomatisierten Pkw instruiert, was zu einer höheren Unsicherheit geführt haben und die kleineren Werte des BQS für die Gruppe der hohen im Vergleich zur niedrigen Automationstransparenz erklären könnte.

Des Weiteren zeigen die aggregierten Verläufe der Bereitschaft zur Querung im Szenario mit nachgebender Fahrstrategie, dass die Bereitschaft zur Querung in kleinen Distanzen zum Pkw (< 10 m)

---

von der Automationstransparenz beeinflusst wird (vgl. Joisten, Theobald & Abendroth, 2022). Für die Ausprägung der hohen Automationstransparenz der eMMS sinkt die Bereitschaft zur Querung in kleinen Distanzen zwischen Pkw und Versuchsperson nicht ab bzw. stagniert auf einem annähernd gleichbleibenden Niveau, während die Bereitschaft zur Querung für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz in diesem Distanzbereich absinkt. Interaktionen mit Pkw in nahen Distanzen und geringen Geschwindigkeiten des Pkw werden von zu Fuß Gehenden als unsicher empfunden (vgl. Dey et al., 2021; Y. M. Lee et al., 2021). Die Signale einer hochtransparenten eMMS über die Wahrnehmung der Fahrumgebung und die Kooperationsbereitschaft könnten deshalb insbesondere für diese Verkehrsszenarien positive Auswirkungen auf die Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden haben (Dey et al., 2021).

Das **Misstrauen** der Versuchspersonen wird nicht statistisch signifikant von der Automationstransparenz des hochautomatisierten Pkw beeinflusst. Gleichmaßen unterscheidet sich das **Vertrauen** in den hochautomatisierten Pkw für beide Ausprägungen der Automationstransparenz nicht statistisch signifikant an jedem Versuchstag. Die Betrachtung der Effektgrößen der einfachen Haupteffekte der Erfahrung legen jedoch offen, dass der Effekt der Erfahrung für die Ausprägung der hohen Automationstransparenz stärker ausgeprägt ist ( $AT\uparrow: \eta_p^2 = 0,756$ ), als für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz ( $AT\downarrow: \eta_p^2 = 0,378$ ). Dies lässt darauf schließen, dass die Versuchspersonen des kontrollierten Feldtests mit zunehmender Erfahrung stärker von der hochtransparenten eMMS im Hinblick auf ihr Vertrauen in hochautomatisierte Pkw profitierten, als von einer niedrigtransparenten eMMS. Dieser Befund ist im Einklang der Studie von Faas et al. (2021), die positive Effekte von hochtransparenten eMMS auf das Vertrauen von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw zeigt.

Die Automationstransparenz der eMMS des hochautomatisierten Pkw beeinflusste mehrere Komponenten des **mental Modells** der Versuchspersonen im kontrollierten Feldtest (Joisten, Schwindt et al., 2022). Die Interaktion mit einer hochtransparenten eMMS beeinflusst das mentale Modell der Versuchspersonen hinsichtlich der Kommunikationsfähigkeiten des hochautomatisierten Pkw, d. h. die Versuchspersonen in der Gruppe der hohen Automationstransparenz stimmen den Aussagen statistisch signifikant stärker zu, dass der hochautomatisierte Pkw eine nachgebende und eine nicht nachgebende Intention über die eMMS kommunizieren kann. Weil die eMMS nicht dafür konzipiert ist ein offensives Signal (d. h. eine nicht nachgebende Intention) zu kommunizieren und die Versuchspersonen entsprechend der korrekten Signalbedeutungen instruiert wurden, deutet dieser Befund darauf hin, dass das mentale Modell der Versuchspersonen unvollständig in Bezug auf die Systemfähigkeiten und -limitationen nach den Interaktionen war. Die hochtransparente eMMS induziert

---

eine nicht zutreffende Erwartung der Versuchspersonen in Bezug auf die Fähigkeiten des Pkw. Zudem könnte die Information zur Wahrnehmung der Fahrumgebung im Szenario mit nicht nachgebender Fahrstrategie von den Versuchspersonen mit der Ausprägung der hohen Automationstransparenz als offensives Signal missinterpretiert worden sein, weil es nicht konsistent zur dMMS des Pkw eingesetzt wurde.

Auch für die Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz konnten nichtzutreffende Erwartungen in einzelnen Elementen des mentalen Modells festgestellt werden. Diese Gruppe von Versuchspersonen stimmte der Aussage statistisch signifikant stärker zu, dass der hochautomatisierte Pkw eine Notbremsung durchführen könnte. Des Weiteren entwickelten diese Versuchspersonen mit zunehmender Erfahrung eine statistisch signifikant stärkere Zustimmung zu der Aussage, dass der hochautomatisierte Pkw Emotionen von zu Fuß Gehenden interpretieren kann. Beide Fähigkeiten des hochautomatisierten Pkw wurden im kontrollierten Feldtest nicht erlebt und die Versuchspersonen wurden diesbezüglich nicht instruiert. Eine niedrigtransparente eMMS sollte dementsprechend hinsichtlich der Erzeugung von Fehlvorstellungen von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw überprüft werden (vgl. Faas, Kao & Baumann, 2020; Faas et al., 2021; Kaleefathullah et al., 2022).

### 5.3.3 Diskussion der Methode und des eingesetzten Materials

Ein zwei- bzw. drei-faktorielles gemischtes **Studiendesign** mit Messwiederholung wurde zur Untersuchung des Einflusses der Erfahrung (Innersubjektvariable) und der Automationstransparenz (Zwischensubjektvariable) auf die Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw eingesetzt. Der Wahl der Automationstransparenz als Zwischensubjektfaktor liegt die Annahme zugrunde, dass die Kommunikation über die eMMS eines hochautomatisierten Pkw in Zukunft standardisiert erfolgt (vgl. Carmona et al., 2021; Joisten, Müller & Abendroth, 2022) und damit keine unterschiedlichen eMMS-Gestaltungen eingeführt werden, deren Signale von zu Fuß Gehenden erlernt werden müssen.

Die Anpassung der Bereitschaft zur Querung und des Vertrauens der Versuchspersonen bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw zeigt die Notwendigkeit der Wiederholung von Messungen in Abhängigkeit der **Erfahrung** der Versuchspersonen auf. Die Durchführung von drei bzw. vier Messwiederholungen im kontrollierten Feldtest als diskrete Faktorstufen der Variable Erfahrung lässt keine Rückschlüsse über mittel- bzw. langfristige Verhaltensanpassungen (vgl. Manser et al., 2013) von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw zu. Es ist zu vermuten, dass eine mittel- bzw. langfristige Verhaltensanpassung der zu Fuß Gehenden erst mit dem Erleben vielfältiger Szenarien auftritt, bspw. in Bezug auf Tageszeit und Fahrmanöver (Martens & Jenssen, 2012) sowie

dem Erleben von Fehlfunktionen eines hochautomatisierten Pkw (vgl. Hensch et al., 2022; Holländer et al., 2019; Kaleefathullah et al., 2022). Deshalb können die gefundenen Effekte im kontrollierten Feldtest als relativ stabil in Bezug auf das definierte, abgegrenzte Untersuchungsszenario interpretiert werden bzw. sie befinden sich auf einem Plateau auf der Lernkurve der Versuchspersonen. Dem anschließend konnten die Versuchspersonen zwar konkrete Erfahrungen in der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw machen, die Beobachtungen zwischen den Versuchstagen reflektieren und darauf abstrakte Konzepte und Generalisierungen bezüglich des automatisieren Fahrens bilden, ein aktives Experimentieren bei der Interaktion (vgl. Madigan et al., 2019) war jedoch kein Bestandteil des Versuchsdesigns (siehe Abbildung 5-20). Im Sinne des erfahrungsbasierten Lernzyklus von Kolb (1984) wurde der Lernzyklus von den Versuchspersonen nicht vollständig durchlaufen.

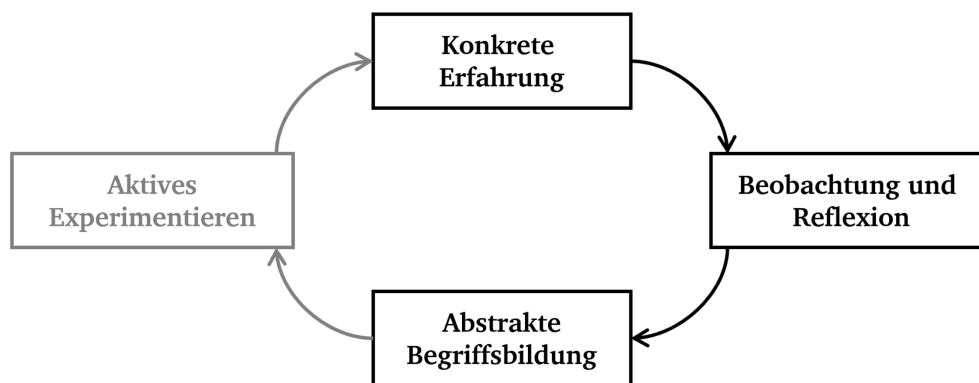


Abbildung 5-20: Erfahrungsbasierter Lernzyklus nach Kolb (in Anlehnung an Kolb, 1984); das aktive Experimentieren war kein Bestandteil des Versuchsdesigns dieser Dissertation und wird deshalb durch graue Pfeile und Schrift dargestellt

Die Zwischensubjektvariable der **Automationstransparenz** wurde über die eMMS des hochautomatisierten Pkw und anhand der Kategorien der Kommunikationsinhalte von automatisierten Fahrzeugen (siehe Schieben et al., 2019) operationalisiert. Dieser Ansatz ermöglicht die Vergleichbarkeit der vorliegenden Studienerkenntnisse mit dem Stand der Forschung zu Effekten von eMMS auf das Verhalten von zu Fuß Gehenden. Zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit der eMMS wurde diese im Rahmen einer menschenzentrierten Gestaltung im Forschungsprojekt @CITY-AF entwickelt und evaluiert (Joisten, Müller & Abendroth, 2022; Joisten, Theobald, Webler & Abendroth, 2022; Joisten, Vögler & Abendroth, 2021). Nichtsdestotrotz sind die gefundenen Auswirkungen der Automationstransparenz nicht unabhängig von der Gestaltung der eMMS im kontrollierten Feldtest einzuordnen. Bezüglich der Taxonomie von Gestaltungsdimensionen einer eMMS (siehe Dey, Habibovic, Löcken et al., 2020 und Anhang B) ist die eingesetzte eMMS insbesondere vergleichbar mit LED-Lichtband-Konzepten, die am Fahrzeugdach angebracht sind und die Farbe Cyan zur Darstellung von abstrakten visuellen Informationen nutzen.

Insgesamt 37 **Versuchspersonen** nahmen an der Untersuchung im kontrollierten Feld teil, wobei Datensätze von 31 Versuchspersonen in die Analyse eingeschlossen werden konnten. Die



---

Versuchspersonen haben eine mittelstark ausgeprägte internale (MW (SD): 4,08 (0,50); Likert-Skala von 1 - „stimme gar nicht zu“ - bis 5 - „stimme voll und ganz zu“) und externale Kontrollüberzeugung (2,40 (0,94)) im Vergleich zu den von Kovaleva et al. (2014) erhobenen bevölkerungsrepräsentativen Referenzwerten (MW (SD): internal = 4,27 (0,77); external = 2,52 (1,00)). Für das eingesetzte Messinstrument zur Erhebung der Sensationssuche der Versuchspersonen (AISS-d) liegen keine repräsentativen Referenzwerte vor. Die Ausprägung der Sensationssuche der Versuchspersonen (Neuigkeit = 2,74 (0,48); Intensität = 2,39 (0,51); Likert-Skala von 1 - „trifft gar nicht auf mich zu“ - bis 4 - „trifft stark auf mich zu“) stimmt mit den Referenzwerten zur Skalenkonstruktion von Roth und Mayerhofer (2003) überein (Neuigkeit = 2,81 (0,50); Intensität = 2,28 (0,52)). Die Rekrutierung der Versuchspersonen erfolgte im Umfeld der Technischen Universität Darmstadt, was eine erhöhte Technikaffinität der Versuchspersonen begründen könnte.

Des Weiteren zeigen die erhobenen konfundierenden Variablen, dass die Versuchspersonen, die der Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz zugeordnet waren, statistisch signifikant häufiger angaben, Verletzungen als zu Fuß gehende Personen im Straßenverkehr auszuführen. Dies bedeutet, dass diese Gruppe an Versuchspersonen häufiger von bewussten Abweichungen von sozialen Regeln im Straßenverkehr und Fehlern als zu Fuß gehende Person berichtete, die aus einem Mangel an Wissen über die Verkehrsregeln und/oder über die für die Entscheidungsfindung maßgeblichen Informationen resultieren (vgl. Joisten, Bier & Abendroth, 2022; Reason et al., 1990). Des Weiteren akzeptierten die Versuchspersonen mit der Ausprägung der niedrigen Automationstransparenz signifikant häufiger Lücken der Größe von 4 s vor einem konventionellen Pkw im durchgeführten Videoexperiment. Diese Befunde legen nahe, dass die gebildeten Studienkollektive für die beiden Ausprägungen der Automationstransparenz nicht vollständig vergleichbar sein könnten. Aufgrund des quasi-experimentellen Charakters der Untersuchung konnten diese Einflüsse nicht vollumfänglich kontrolliert werden.

Das **Untersuchungsszenario** im Shared Space wurde von den Versuchspersonen im post-hoc Interview als realitätsnah beschrieben. Die Versuchspersonen gaben an, sich in der Untersuchung im kontrollierten Feldtest so verhalten zu haben, wie sie es im realen Straßenverkehr auch getan hätten (Zustimmung zur Interviewfrage: 61,3 % stimmen voll und ganz zu, 38,7 % stimmen zu bzw. teilweise zu).

Ein Artefakt des Untersuchungsszenarios könnte die Lichtschranke zur Indikation des Bremsmanövers an den Fahrer des Pkw sein. Trotz der Einführung der Lichtschranke mit einer Cover-Story am ersten Versuchstag könnte sie als räumliche Referenz für die Entscheidung zur Querung gedient haben. Jedoch nutzen zu Fuß Gehende im Straßenverkehr statische Merkmale der Verkehrsumgebung, um Verkehrssituationen zu verstehen und um sich zu orientieren (vgl. Fotios et al., 2015; Tom & Granié, 2011), weshalb die Lichtschranke als statischer Marker im Testfeld auch zu einem natürlichen Verhalten der Versuchspersonen als zu Fuß gehende Person beigetragen haben könnte.

---

Im **Versuchsablauf** wurde die Interaktion mit dem konventionellen und dem hochautomatisierten Fahrmodus nicht permutiert. Insbesondere am ersten Versuchstag müssen die Ergebnisse des kontrollierten Feldtests unter Berücksichtigung der Möglichkeit eines Reihenfolgeeffekts interpretiert werden. Nichtsdestotrotz trugen zwei Wiederholungen der Interaktion mit dem Pkw im konventionellen Fahrmodus an jedem Versuchstag zum Üben der Aufgabe durch die Versuchspersonen bei.

Die **Messgrößen** der *Bereitschaft zur Querung* wurden in Abhängigkeit der Fahrstrategie in die minimale Lücke und den BQS unterschieden. Während die minimale Lücke eine etablierte Messgröße der Lückenakzeptanzuntersuchung darstellt, ist der BQS eine neue Metrik (vgl. Clercq et al., 2019; Walker et al., 2019) zur Beschreibung des Interaktionsprozesses zwischen zu Fuß Gehenden und Fahrzeugen. Der Vorteil des BQS liegt in der kontinuierlichen Erfassung der Bereitschaft zur Querung der Versuchspersonen und dementsprechend in der Abbildung des gesamten Interaktionsprozesses; im Vergleich zur singulären Messung eines Entscheidungszeitpunktes mittels der (minimalen) Lücke oder TTA (vgl. Faas, Mattes et al., 2020). Deshalb eignet sich die minimale Lücke als Indikator für die Bereitschaft zur Querung vor Pkw mit nicht nachgebender Fahrstrategie, während der BQS als Indikator für die Bereitschaft zur Querung geeignet ist, wenn es zu einem Interaktionsprozess zwischen zu Fuß gehender Person und Pkw kommt, unabhängig von der gewählten Fahrstrategie des Pkw.

Der BQS nimmt Werte im Intervall von  $[0, 1]$  an und besitzt kein generalisierbares Optimum, sondern ist von der individuellen Bereitschaft und den gewählten Versuchsparametern, insbesondere vom Verlauf der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängig. Des Weiteren ist das Intervall der Auswertung des BQS nicht standardisiert. Für den kontrollierten Feldtest wurde das Intervall auf  $[45 \text{ m}, 2 \text{ m}]$  festgelegt. Bei der oberen Grenze von 45 m waren alle Versuchspersonen bereit zur Querung. Die untere Grenze wurde aufgrund der Variabilität in den Bremsmanövern des Fahrers und der daraus resultierenden Haltezone von bis zu 2 m vor der Versuchsperson definiert.

Der eingesetzte Fragebogen zum *Vertrauen in den hochautomatisierten Pkw* ist ein etabliertes und effizientes Messinstrument (Frison et al., 2020). Für die Untersuchung im kontrollierten Feldtest zeigte sich das Instrument jedoch nicht vollständig reliabel für die Subskala des Misstrauens, das infolge durch den Ausschluss eines Items angepasst wurde. Des Weiteren unterscheidet der Fragebogen nicht die Ebenen des Vertrauens nach Hoff und Bashir (2015), was eine diesbezügliche Analyse ausschließt. Für eine differenziertere Erhebung des Vertrauens stehen alternative Messinstrumente zur Verfügung (bspw. Körber, 2019), die in zukünftigen Untersuchungen eingesetzt werden könnten.

Zur Erhebung des *mental Modells* der Versuchspersonen bezüglich hochautomatisierter Pkw wurde kein validiertes Messinstrument eingesetzt (vgl. Joisten, Schwindt et al., 2022). Allerdings stellt der

---

gewählte Ansatz über die Zusammenstellung eines Katalogs an Fähigkeiten und Limitationen von hochautomatisierten Pkw eine Vorgehensweise zur Erhebung des mentalen Modells bezüglich automatisierter Fahrzeuge dar (vgl. Beggiato & Krems, 2013; Beggiato et al., 2015; Blömacher et al., 2020; Forster et al., 2019). Dabei wird die Zustimmung der Versuchspersonen zum konzeptuellen Modell (Norman, 2014) hinsichtlich des automatisierten Fahrens als mentales Modell der Versuchspersonen operationalisiert. Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in der Quantifizierung des mentalen Modells, das infolge dessen mit Methoden der inferenzstatistischen Statistik analysiert werden kann. Darüber hinaus liefern qualitative Erhebungen tiefere Informationen hinsichtlich des mentalen Modells (siehe Langan-Fox et al., 2000, für einen Überblick der Erhebungstechniken). Die post-hoc Interviews bieten diesbezüglich Einblicke in die zugrundeliegenden Mechanismen zum mentalen Modell der Versuchspersonen bezüglich hochautomatisierter Pkw.

### 5.3.4 Limitationen des kontrollierten Feldtests

Die Untersuchung im kontrollierten Feldtest ist mit einem hohen Echtheitsgrad der Testbedingungen verbunden, im Vergleich zu Untersuchungen in einer Laborumgebung (vgl. Bruder et al., 2007). Die Versuchspersonen waren keiner Gefahr ausgesetzt, konnten aber ein Risiko bei der Interaktion mit dem hochautomatisierten Pkw wahrnehmen. Nichtsdestotrotz ist die Untersuchung mit Limitationen verbunden, die im Folgenden adressiert werden.

Die *erste Limitation* betrifft das Kollektiv der Versuchspersonen, das aus jungen Personen im Alter von 21 bis 31 Jahren bestand. Die Befunde des kontrollierten Feldtests können nicht auf jüngere und ältere Altersgruppen übertragen werden, weil das Alter eine die Interaktion zwischen zu Fuß gehenden Personen und automatisierten Fahrzeugen beeinflussende Variable ist (Deb et al., 2020; Dommes et al., 2021; Hensch et al., 2022).

Die *zweite Limitation* ist der Untersuchungszeitraum des kontrollierten Feldtests von drei Versuchstagen innerhalb einer Woche. Aufgrund der Setzung des Untersuchungszeitraums müssen die Erkenntnisse des kontrollierten Feldtests als Effekte der ersten Kontakte von zu Fuß gehenden Personen mit hochautomatisierten Pkw eingeordnet werden. Dennoch spiegelt die Frequenz der Interaktion mit dem hochautomatisierten Pkw an drei Versuchstagen die von den Versuchspersonen im Fragebogen angegebenen Häufigkeit der Mobilität als zu Fuß gehende Person im Straßenverkehr gut wider (siehe Anhang D). Dem anknüpfend ist die *dritte Limitation* im Versuchsablauf begründet. Die Versuchspersonen interagierten in 20 Wiederholungen innerhalb von ca. 20 Minuten mit dem hochautomatisierten Pkw. Diese Interaktionsfrequenz ist nicht repräsentativ für das Verhalten von zu

---

Fuß Gehenden im Straßenverkehr, stellt jedoch die konkrete Erfahrung der Versuchsperson mit dem hochautomatisierten Pkw im kontrollierten Feldtest sicher.

Die *vierte Limitation* betrifft das Untersuchungsszenario, das auf die Interaktion von zwei Agenten (Versuchsperson und Pkw) begrenzt war. Auswirkungen auf das Verhalten von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion von multiplen Agenten im Untersuchungsszenario (vgl. Joisten, Liu et al., 2021) müssen gesondert betrachtet werden. Während der WoOz-Ansatz als geeignet für die Präsentation eines hochautomatisierten Pkw war (Fuest et al., 2020), resultiert aus dem Fahrmanöver bei nachgebender Fahrstrategie eine *fünfte Limitation*. Das im kontrollierten Feldtest ausgeführte Bremsmanöver kann als stark sanfte Bremsung eingestuft werden (vgl. Bellet et al., 2022) und wurde nicht weiter variiert, weshalb keine Rückschlüsse auf unterschiedliche Bremsmanöver von hochautomatisierten Pkw gezogen werden können.

Hinsichtlich der Untersuchung des Verhaltens von zu Fuß Gehenden muss in einer *sechsten Limitation* kritisch angemerkt werden, dass die Versuchspersonen keine Konsequenz ihres Verhaltens während des kontrollierten Feldtests gespiegelt bekamen und ihr Verhalten nur auf Basis ihrer konkreten Erfahrung, Beobachtung und eigenen Reflektion anpassten.

### 5.3.5 Schlussfolgerung des kontrollierten Feldtests

Zur Untersuchung der Effekte der Erfahrung, des Fahrmodus und der Automationstransparenz wurde ein kontrollierter Feldtest durchgeführt, in dem zu Fuß Gehende mit einem hochautomatisierten Pkw an drei Versuchstagen interagierten. Die Ergebnisse zeigen, dass es zu kurzfristigen Verhaltensanpassungen der zu Fuß Gehenden bei der Bereitschaft zur Querung im Szenario mit nachgebender Fahrstrategie und im Vertrauen sowie Misstrauen gegenüber hochautomatisierten Pkw kommt. Des Weiteren wurde ein positiver Zusammenhang des initialen Vertrauens in hochautomatisierte Pkw und der nachfolgend erhobenen Bereitschaft zur Querung identifiziert. Das mentale Modell passt sich demgegenüber nicht nach dem Erleben der Untersuchungsszenarien an. Jedoch ist die Ausprägung des mentalen Modells abhängig von der Automationstransparenz des hochautomatisierten Pkw. Beide Ausprägungen der Automationstransparenz induzieren nichtzutreffende Erwartungen hinsichtlich der Fähigkeiten eines hochautomatisierten Pkw im mentalen Modell der Versuchspersonen. Die aus dem kontrollierten Feldtest resultierenden Implikationen für Forschung und Praxis werden im nächsten Kapitel formuliert.

Das geprüfte empirische Untersuchungsmodell und der Überblick über die beibehaltenen und abgelehnten Hypothesen sind in Abbildung 5-21 und Tabelle 5-16 dargelegt.

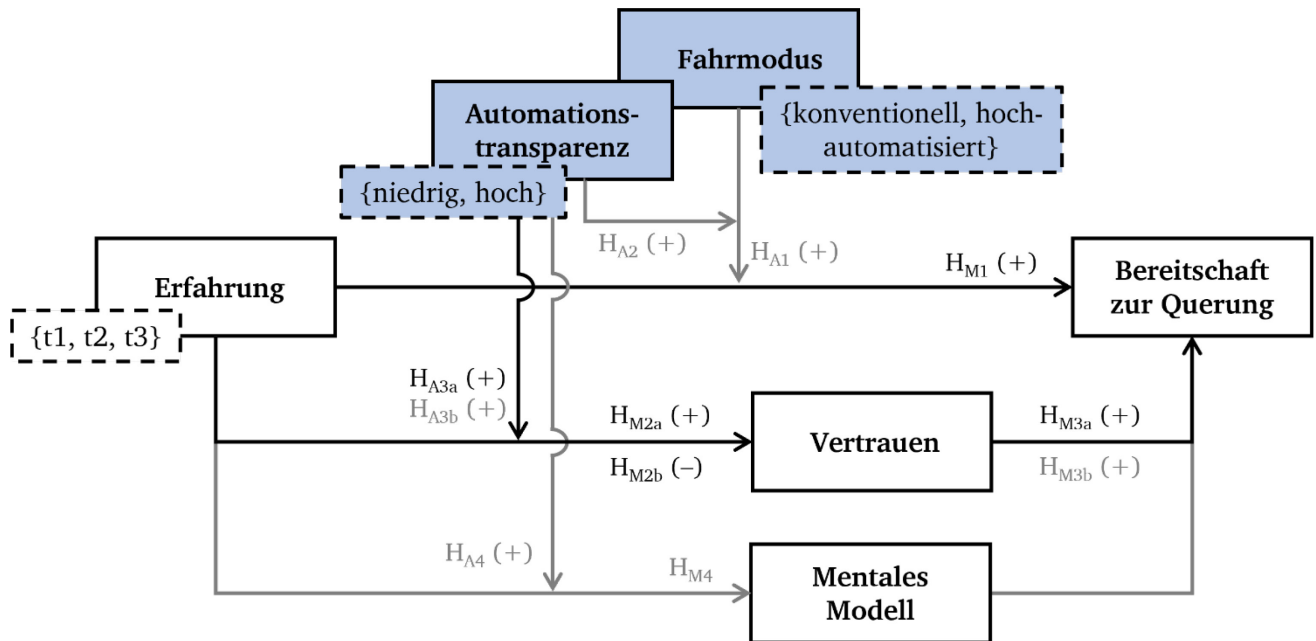


Abbildung 5-21: Geprüftes empirisches Untersuchungsmodell mit Hypothesen (H). Abgelehnte Hypothesen sind mit grauen Pfeilen und grauer Schrift darstellt. Die postulierte Richtung des Effekts der Zusammenhangshypothesen (+: Zunahme; -: Abnahme) sind dargelegt. Weiße Kästen symbolisieren den Fragenkomplex Mensch (M), bezugnehmend auf Forschungsfragen 1a bis 1c und 2. Blaue Kästen symbolisieren den Fragenkomplex Automation (A), bezugnehmend auf Forschungsfragen 3a bis 3c.

Tabelle 5-16: Überblick über die beibehaltenen und abgelehnten Hypothesen des empirischen Untersuchungsmodells; abgelehnte Hypothesen sind in grauer Schrift darstellt

Beibehaltene Hypothesen zum Fragenkomplex Mensch (M)	
$H_{M1}$	Mit dem Anstieg der <i>Erfahrung</i> von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw <u>steigt</u> die <i>Bereitschaft zur Querung</i> vor hochautomatisierten Pkw.
$H_{M2a}$	Mit dem Anstieg der <i>Erfahrung</i> von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw <u>steigt</u> das <i>Vertrauen</i> in hochautomatisierte Pkw.
$H_{M2b}$	Mit dem Anstieg der <i>Erfahrung</i> von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw <u>sinkt</u> das <i>Misstrauen</i> in hochautomatisierte Pkw.
$H_{M3a}$	<u>Je höher</u> das <i>initiale Vertrauen</i> von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw ist, <u>desto höher</u> ist die <i>Bereitschaft zu Querung</i> .
Abgelehnte Hypothesen zum Fragenkomplex Mensch (M)	
$H_{M3b}$	<u>Je höher</u> das <i>erlernte Vertrauen</i> von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw ist, <u>desto höher</u> ist die <i>Bereitschaft zur Querung</i> .
$H_{M4}$	Mit dem Anstieg der <i>Erfahrung</i> von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw <u>verändert</u> sich das <i>mentale Modell</i> bezüglich hochautomatisierter Pkw.
Beibehaltene Hypothesen zum Fragenkomplex Automation (A)	
$H_{A3a}$	Der Zusammenhang des Anstiegs von <i>Erfahrung</i> und einem höheren <i>Vertrauen</i> ist <u>stärker</u> für eine <i>hohe Automationstransparenz</i> im Vergleich zu einer niedrigen Automationstransparenz.
Abgelehnte Hypothesen zum Fragenkonzept Automation (A)	
$H_{A1}$	Der Zusammenhang des Anstiegs von <i>Erfahrung</i> und einer höheren <i>Bereitschaft zur Querung</i> ist <u>stärker</u> für <i>hochautomatisierte Pkw</i> im Vergleich zu konventionellen Pkw.
$H_{A2}$	Der Zusammenhang des Anstiegs von <i>Erfahrung</i> und einer höheren <i>Bereitschaft zur Querung</i> ist <u>stärker</u> für eine <i>hohe Automationstransparenz</i> im Vergleich zu einer niedrigen Automationstransparenz.
$H_{A3b}$	Der Zusammenhang des Anstiegs von <i>Erfahrung</i> und einem geringeren <i>Misstrauen</i> ist <u>stärker</u> für eine <i>hohe Automationstransparenz</i> im Vergleich zu einer niedrigen Automationstransparenz.
$H_{A4}$	Der Zusammenhang des Anstiegs von <i>Erfahrung</i> und einem veränderten <i>mentalen Modell</i> ist <u>stärker</u> für eine <i>hohe Automationstransparenz</i> im Vergleich zu einer niedrigen Automationstransparenz.

---

## 6 Allgemeine Diskussion und Fazit

---

In Kapitel 6.1 wird das *methodische Vorgehen* der Arbeit diskutiert. Anschließend werden in Kapitel 6.2 die *Beiträge der Arbeit zu den Untersuchungszielen* dargelegt und die zentralen Ergebnisse in das Forschungsfeld der Verhaltensanpassung im Straßenverkehr eingeordnet. *Implikationen für Forschung und Praxis* werden in Kapitel 6.3 abgeleitet. Die Arbeit schließt mit einem *Fazit* in Kapitel 6.4.

### 6.1 Diskussion zu dem methodischen Vorgehen

Die identifizierten Forschungslücken und abgeleiteten Forschungsfragen wurden in dieser Arbeit durch einen **Untersuchungsplan** adressiert, der qualitative und quantitative Forschungsansätze vereint sowie einem explorativen als auch explanativen Erkenntnisinteresse folgt (vgl. Döring & Bortz, 2016). In einem anwendungswissenschaftlichen Ansatz mit zwei aufeinanderfolgenden empirischen Untersuchungen wurden Primärdaten erhoben. Durch die Wahl eines Mixed-Method-Ansatz wurde das Phänomen der Verhaltensanpassung ganzheitlich betrachtet. Die qualitative Untersuchung, die zur Generierung von Hypothesen diente, wurde durch die quantitative und isolierte Untersuchung von Zusammenhängen mittels Hypothesenprüfung ergänzt.

Die Interviewstudie ermöglichte eine flexible Anpassung an den Forschungsgegenstand während der Datenerhebung (vgl. Przyborski & Wohrab-Sahr, 2021), die Kontrolle von Störgrößen in der Untersuchung sowie den Einbezug von unterschiedlichen Einflussgrößen der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw, die detailliert mit den Teilnehmenden des Interviews besprochen werden konnten.

Mittels Untersuchung im kontrollierten Feldtest wurde die identifizierte Lücke der Erforschung von Verhaltensanpassungen zu Fuß gehender Personen bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw in realitätsnahen Untersuchungsumgebungen adressiert. Nichtsdestotrotz sollte diese Untersuchung im kontrollierten Feld durch (verdeckte) Beobachtungen im Feld ergänzt werden, bei denen zu Fuß Gehende nicht unter Testbedingungen mit einem hochautomatisierten Pkw interagieren (vgl. Currano et al., 2018; Joisten, Freund & Abendroth, 2020; Madigan et al., 2019). Dabei reduzieren sich die Möglichkeit der Variablenmanipulation sowie die Kontrolle über Störgrößen und Randbedingungen der Untersuchung (Bruder et al., 2007).

Beide Untersuchungen begrenzten die Anzahl der Untersuchungsobjekte auf Stichproben von **Teilnehmenden und Versuchspersonen**. Die Auswahl und Rekrutierung der Personen wurden auf die Tätigkeit des „Zufußgehens im Straßenverkehr“ ausgerichtet. Diesbezüglich wurden keine Anforderungen hinsichtlich der Art und Häufigkeit der Tätigkeitsausführung an die Teilnehmenden bzw.

---

Versuchspersonen gestellt, weil das Zufußgehen im Straßenverkehr als Bestandteil der Mobilitätskette alltäglich ist (vgl. Zegeer & Bushell, 2012; in Ausnahme von mobilitätseingeschränkten Personen).

Ein Einfluss der Teilnehmenden und Versuchspersonen auf die Ergebnisse der Untersuchungen ist aufgrund der Leistungsbereitschaft (vgl. Schlick et al., 2018) möglich. Die Untersuchung im kontrollierten Feld mit Messwiederholung wurde in keinem Fall auf Wunsch einer Versuchsperson abgebrochen. Dies deutet darauf hin, dass die Personen bereit und motiviert waren an der Untersuchung mit Messwiederholung teilzunehmen. Die Leistungsbereitschaft der Versuchspersonen im kontrollierten Feldtest hätte durch die Bewertung der Untersuchung durch die Versuchspersonen am Ende der Untersuchung (vgl. Bazilinsky, Kooijman et al., 2021 für eine online Befragung) oder durch die Erhebung weiterer leistungsbezogener Maße bei der Durchführung stärker in das Untersuchungsdesign integriert werden können; wie zu Beginn der Untersuchung durch die Messung der Gehgeschwindigkeit der Versuchspersonen als Ersatzgröße für die Motivation zur Querung im vorgegebenen Untersuchungsszenario.

Die **Untersuchungsszenarien** der Interviewstudie (Querung einer zweistreifigen Fahrbahn vor einem Pkw) und des kontrollierten Feldtests (Querung vor einem Pkw im Shared Space) ist generalisierbar hinsichtlich zentraler urbaner Orte der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und Pkw, letzteres Szenario bspw. für Interaktionen auf Parkplätzen als wichtiger Anwendungsfall des hochautomatisierten Fahrens (Chan & Chin, 2021). Beiden Untersuchungsszenarien liegt sich kreuzende Bewegungsbahnen von zu Fuß gehender Person und Pkw als Konflikt der Interaktion zugrunde (vgl. Markkula et al., 2020). Darüber hinaus sollte die Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf andere Bewegungsbahnen geprüft werden, wie bspw. zusammenführende Bahnen (vgl. Joisten, Vögler & Abendroth, 2021).

Die **Analyse der Daten** im kontrollierten Feldtest erfolgte mittels inferenzstatistischer Methoden der nicht-parametrischen ANOVA mit ART und Regressionsanalysen. Der benötigte Stichprobenumfang wurde a priori mittels Teststärkeanalyse bestimmt. Aufgrund der gewählten Stichprobenumfänge konnten keine weiteren Variablen in die statistischen Modelle einbezogen werden, die nicht bereits im Arbeitsmodell inkludiert waren.

Zusammenfassend trägt das methodische Vorgehen mit der Wahl einer quasi-experimentellen Studie mit **Messwiederholungen** zur Überwindung des Neuheitseffekts in der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw bei (vgl. Faas, Kao & Baumann, 2020). Die Untersuchung im kontrollierten Feld adressiert damit die methodische Forschungslücke einer Untersuchung von Auswirkungen der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw auf das Verhalten von zu Fuß Gehenden, die über den Erstkontakt, der üblicherweise in experimentellen Untersuchungen ohne Messwiederholung simuliert wird (vgl. Frison et al., 2020), hinausgehen.

---

## 6.2 Diskussion zu den Untersuchungszielen

Die Einführung von hochautomatisierten Pkw induziert eine Veränderung im System Mensch-Fahrzeug-Umwelt des Straßenverkehrs, deren Auswirkungen auf das Verhalten von zu Fuß Gehenden bisher unklar sind (Millard-Ball, 2018). Die übergeordnete Forschungslücke der Analyse von Verhaltensanpassungen zu Fuß Gehender bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw wurde unter den Aspekten der zunehmenden Erfahrung des Menschen (Untersuchungsziel 1) und der Automationstransparenz als Variable der Gestaltung von hochautomatisierten Pkw (Untersuchungsziel 2) in der vorliegenden Arbeit adressiert.

### **Passt sich das Verhalten von zu Fuß Gehenden mit steigender Erfahrung bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw an?**

Die Einführung von hochautomatisierten Pkw in den Mischverkehr aus automatisierten und nicht automatisierten Verkehrsteilnehmenden (vgl. Schieben et al., 2019) ist ein gradueller Prozess (vgl. Bansal & Kockelman, 2017; Weigl et al., 2022). Im System des Straßenverkehrs sind zu Fuß Gehende flexible (Papadimitriou et al., 2009) und gleichzeitig verletzbare Verkehrsteilnehmende (World Health Organization, 2018), deren Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden durch Anonymität gekennzeichnet ist (Merten, 1977b).

Die Automatisierung der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe verändert die Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und Pkw entsprechend der Herausforderungen der Automatisierung von Systemen (J. D. Lee & Seppelt, 2009): Veränderungen im Feedback zwischen Mensch und automatisiertem System und damit verbundene Anpassungen in der Aufgabenstruktur des Menschen bei der Interaktion mit dem automatisierten System sowie die einhergehende kognitive und affektive Reaktionen des Menschen begründen die Notwendigkeit zur Untersuchung von Verhaltensanpassung des Menschen.

Die Beiträge dieser Arbeit zeigen, dass Erfahrung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw zu kurzfristigen Verhaltensanpassungen führt, indem sich das Vertrauen in den hochautomatisierten Pkw und die Bereitschaft zur Querung vor einem hochautomatisierten Pkw mit nachgebender Fahrstrategie anpassen. Während der Erstkontakt für die Kalibrierung des Vertrauens in den hochautomatisierten Pkw zwischen zu Fuß gehender Person und hochautomatisiertem Pkw als zentrale Interaktionserfahrung identifiziert wurde, weisen die Ergebnisse von Interviewstudie und kontrolliertem Feldtest darüber hinaus darauf hin, dass die Ausprägung der Interaktionserfahrung, die zu einer Verhaltensanpassung bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw führt, individuell verschieden ist. Nichtsdestotrotz ist der identifizierte Zusammenhang zwischen zunehmender Erfahrung und Verhaltensanpassung von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw im Einklang mit Befunden von online Befragungen (Penmetsa et al., 2019; Pyrialakou et al., 2020), einer videobasierten Laborstudie (Faas, Kao & Baumann, 2020) sowie einer VR-Laborstudie (Colley et al.,



---

2022). Diese Befunde werden durch die in dieser Arbeit durchgeführten Studie in einer realitätsnahen Versuchsumgebung erweitert.

Der untersuchte und ergebnisrelevante Aspekt der Interaktionserfahrung als zeitlicher Aspekt der Verhaltensanpassung ist vor dem Hintergrund bekannter Erklärungsmodelle von Verhaltensanpassungen im Straßenverkehr zu diskutieren. Das Prozessmodell von Weller und Schlag (2004) postuliert, dass es zu einer Verhaltensanpassung kommt, wenn die Veränderung im System Mensch-Fahrzeug-Umwelt wahrnehmbar ist, eine objektive Erweiterung des Handlungsspielraums bietet und diese mit einem subjektiven Nutzen einhergeht (vgl. Elvik, 2004). Bei der Interaktion von zu Fuß Gehenden und automatisierten Pkw ergibt sich eine objektive Erweiterung des Handlungsspielraums durch eine defensive, vorausschauende Fahrstrategie der Automatisierung (vgl. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017), die durch das Fahrverhalten und durch die explizite Kennzeichnung des Automationsstatus eines hochautomatisierten Pkw (Faas & Baumann, 2021; Joisten, Alexandri et al., 2020) von zu Fuß Gehenden wahrgenommen werden kann. Dabei besteht durch eine zeitliche und örtliche Entgrenzung bei der Entscheidung zur Querung vor einem automatisierten Pkw ein subjektiver Nutzen für zu Fuß gehende Personen bei der Interaktion mit automatisierten Pkw (Millard-Ball, 2018). Dies bedeutet, dass Verhaltensanpassungen durch Querungen von Straßen außerhalb der dafür vorgesehenen Straßenverkehrseinrichtungen und durch die Wahl von kleineren zeitlichen Lücken zwischen Mensch und automatisiertem Pkw auftreten können.

### **Ist eine Verhaltensanpassung zu Fuß Gehender abhängig von der Automationstransparenz eines hochautomatisierten Pkw?**

Die Automationstransparenz eines hochautomatisierten Pkw nimmt nicht nur Einfluss auf die Wahrnehmbarkeit des objektiven Handlungsspielraums von zu Fuß Gehenden, sondern formt auch die Aufgabenstruktur von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw.

In dieser Arbeit wurde die Automationstransparenz in zwei Ausprägungen (niedrig vs. hoch) variiert. Die zentralen Ergebnisse zeigen, dass das mentale Modell der zu Fuß Gehenden von hochautomatisierten Pkw von der Ausprägung der Automationstransparenz geprägt wird und der Zusammenhang des Anstiegs von Interaktionserfahrung und Vertrauen in den hochautomatisierten Pkw stärker für eine hohe Automationstransparenz ist. Die Bereitschaft zur Querung vor hochautomatisierten Pkw mit nachgebender Fahrstrategie wurde hingegen stärker von einer niedrigtransparenten eMMS beeinflusst. Diese empirischen Befunde und die oben eingeführten theoretischen Überlegungen zur Bildung von Verhaltensanpassungen führen zur Schlussfolgerung, dass Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden von der Automationstransparenz eines hochautomatisierten Pkw abhängig sind.

Eine diesbezüglich fortlaufende Diskussion, die sich auch in den Ergebnissen des kontrollierten Feldtests widerspiegelt, bezieht sich auf die Ausprägung der Automationstransparenz (vgl. Winter & Dodou, 2022). Um die Wahrnehmbarkeit eines erweiterten Handlungsspielraums von zu Fuß Gehenden bei der

---

Interaktion mit hochautomatisierten Pkw einzuschränken und die erlernten (intuitiven) Muster einer Kommunikation über die dMMS auf das hochautomatisierte Fahren zu übertragen, könnte die Kommunikation über die eMMS eines hochautomatisierten Fahrzeugs eingeschränkt und stattdessen die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden primär über die dMMS des Fahrzeugs erfolgen (vgl. Ackermann, Beggiato, Schubert & Krems, 2019; Tabone et al., 2021). Demgegenüber zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit, dass eine hochtransparente Kommunikation über die eMMS eines hochautomatisierten Pkw vor allem in nahen Distanzen und niedrigen Geschwindigkeiten des Pkw zu Fuß Gehende dabei unterstützt, Unsicherheit in der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw abzubauen. Der positive Effekt einer hochtransparenten eMMS auf das subjektive Empfinden von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion wurde bereits in Studien belegt (vgl. Rouchitsas & Alm, 2019).

Die durch eine hochtransparente eMMS erhöhte Informationsmenge in der Kommunikation (bspw. durch die fortlaufende Kommunikation über die Wahrnehmung der Fahrumgebung als Verstärkung des Blickkontakts mit Pkw-Fahrenden oder über die kontinuierliche Kommunikation über die Intention des Fahrzeugs in Abgrenzung zu einer Handgeste) wirkte sich im kontrollierten Feldtest positiv auf das Vertrauen und das mentale Modell der zu Fuß Gehenden aus. Demgegenüber zeigen die Ergebnisse der Interviewstudie, dass die Erwartungen von zu Fuß Gehenden an die Automationstransparenz eines hochautomatisierten Pkw nicht stark ausgeprägt sind und insbesondere nicht dem derzeitigen Stand der Entwicklung und Forschung von eMMS entsprechen (vgl. Dey, Habibovic, Löcken et al., 2020). Es ist deshalb notwendig, dass zu Fuß Gehende zunächst akkurate Erwartungen an die Kommunikation mit hochautomatisierten Pkw aufbauen können, um darauf basierend sichere, effektive und effiziente Interaktionen mit hochautomatisierten Pkw zu ermöglichen.

Neben der konkreten Interaktionserfahrung mit automatisierten Systemen, tragen Instruktionen (vgl. H. Liu et al., 2021) sowie Informationen durch andere Personen, Medien und Aufklärungskampagnen (vgl. Rudin-Brown & Noy, 2002) zur Bildung von Erwartungen und Entstehung von Verhaltensanpassungen bei. Diese Kanäle können insbesondere das intentionale und analytische Modell der Automationstransparenz (siehe Lyons, 2013) vermitteln, d. h. die übergeordneten Zwecke und damit verbundenen wichtigsten Fähigkeiten von hochautomatisierten Pkw sowie die analytischen Prinzipien, die der Entscheidung der Maschine zugrunde liegen. Einer Kommunikation über diese Typen der Automationstransparenz im Interaktionsprozess von zu Fuß gehender Person und hochautomatisiertem Pkw stehen Effizienzbetrachtungen des Interaktionsprozesses entgegen.

Zusammenfassend sollte die Ausprägung der Automationstransparenz von hochautomatisierten Pkw eine positive Wirkung auf die stagnierende Zahl von verunglückten zu Fuß Gehenden in Deutschland haben, d. h. zu einer höheren Verkehrssicherheit beitragen. Diesbezüglich müssen Abwägungen hinsichtlich negativer Effekte der Automationstransparenz (bspw. Verhalten aufgrund von Ablenkung und Informationsüberflutung) und positiver Effekte (bspw. Verhalten durch Reduktion von Unsicherheit) getroffen werden.

---

## 6.3 Implikationen

In diesem Kapitel werden die wissenschaftlichen und praktischen Implikationen abgeleitet. In Kapitel 6.3.1 werden Ansatzpunkte für weitere Forschung aufgezeigt und in Kapitel 6.3.2 die Relevanz der Forschungsergebnisse für die Praxis diskutiert.

### 6.3.1 Implikationen für die Forschung

Aus dem Stand der Forschung geht das **Arbeitsmodell** zur deskriptiven Beschreibung des Untersuchungsgegenstands hervor, das an das *Qualitative Modell der Verhaltensanpassung* von Rudin-Brown und Noy (2002) angelehnt ist.

Weil der Ursprung des Modells in der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion liegt, ist dieses auf den Untersuchungsgegenstand der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw anwendbar. Es bildet zum einen den Interaktionsprozess zwischen zu Fuß Gehenden und Pkw (vgl. Ezzati Amini et al., 2019) und zum anderen die im Stand der Forschung als wesentlich identifizierten menschlichen Faktoren zwischen zu Fuß Gehenden und automatisierten Pkw ab. Zudem verbindet es die menschlichen Faktoren mit dem Aspekt der Automationstransparenz über die eMMS eines hochautomatisierten Pkw.

Die Wirkzusammenhänge einer Verhaltensanpassung, die im Arbeitsmodell qualitativ abgebildet sind, sind gemeinsam mit den empirischen Erkenntnissen der Interviewstudie in **ein empirisches Untersuchungsmodell** zusammengefließen. Mittels der erhobenen Daten aus dem kontrollierten Feldtest konnten einzelne hypothetisierte Zusammenhänge des empirischen Untersuchungsmodells geprüft werden. Eine offene Fragestellung betrifft den Zusammenhang zwischen dem mentalen Modell bezüglich hochautomatisierter Pkw und dem Vertrauen von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw. Die Modellierung des Zusammenhangs erfolgt in der Forschung sowohl als Einfluss des mentalen Modells auf das Vertrauen (Rudin-Brown & Noy, 2002), als auch als Einfluss des Vertrauens auf das mentale Modell (H. Liu et al., 2021). Aufgrund der ungeklärten Kausalität des Zusammenhangs wurde auf eine Modellierung und Prüfung im empirischen Untersuchungsmodell verzichtet. Des Weiteren muss eine lineare Verbindung der beiden Variablen hinterfragt werden. Stattdessen sollte in Zukunft eine dynamische, wechselseitige Beeinflussung von mentalem Modell und Vertrauen untersucht werden (vgl. J. D. Lee & See, 2004). Dazu müssen entsprechende dynamische Erhebungsinstrumente vorhanden sein (vgl. Yang et al., 2021 zum Vertrauen). Im Zuge dessen ist die Validierung einer Erhebungsmethode des mentalen Modells der zu Fuß gehenden Personen bezüglich hochautomatisierten Pkw eine offene methodische Forschungslücke. In Abgrenzung zur quantitativen Erhebung mittels Fragebogen sollten weitere Methoden der Erhebung von mentalen Modellen hinzugezogen werden (vgl. Langan-Fox et al., 2000), wie bspw. die verbale Protokollanalyse oder die Strukturlegetechnik.

---

Die in dieser Arbeit durchgeführten empirischen Untersuchungen fokussieren **Verhaltensanpassungen** auf der Ebene des taktischen Verhaltens von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr (Hoogendoorn, 2001; Hoogendoorn & Bovy, 2004), d. h. hinsichtlich der Entscheidung zur Querung im Sinne der Bereitschaft zur Querung vor einem hochautomatisierten Pkw. Darüber hinaus geht aus dem Arbeitsmodell die Interaktion auf der *operativen Ebene des Verhaltens* von zu Fuß Gehenden als relevante Untersuchungsebene der Verhaltensanpassung hervor. Die Automatisierung des Pkw nimmt Einfluss auf die Aufgabenstruktur von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion (vgl. J. D. Lee & Seppelt, 2009). Zukünftig sollten Forschungen die bidirektionale Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw untersuchen, d. h. zu Fuß Gehenden die Möglichkeit geben selbst mittels Gesten mit dem automatisierten System zu interagieren (vgl. Epke et al., 2021). Des Weiteren weisen die vorliegenden Daten auf eine Anpassung der Bereitschaft zur Querung in Abhängigkeit der Distanz zwischen hochautomatisiertem Pkw und zu Fuß gehender Person hin. Eine Untersuchung von Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden auf operativer Verhaltensebene könnte zum tiefergehenden Verständnis des zeit- und distanzabhängigen Interaktionsprozesses zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw beitragen (vgl. Dey, Holländer et al., 2020).

Die gewonnenen Erkenntnisse aus den **empirischen Untersuchungen** zum Verhalten von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw **mit Messwiederholungen** sollten vor dem Hintergrund der zeitlichen Entwicklung der Technologie eingeordnet werden. Informationen oder Medienberichte zu Unfällen zwischen hochautomatisierten Pkw und zu Fuß Gehenden (vgl. Kutela et al., 2022) nehmen Einfluss auf die subjektive Bewertung der Technologie durch den Menschen (vgl. J. D. Lee & Kolodge, 2020; Tapiro et al., 2022). Weil zum Zeitpunkt der Arbeit keine hochautomatisierten Pkw (SAE Level 4) im Straßenverkehr in Deutschland zugelassen sind und die Erkenntnisse aus anderen Ländern, wie bspw. Testfeldern in den USA (vgl. Faisal et al., 2019), aufgrund von kulturellen Unterschieden im Verhalten von zu Fuß Gehenden nur begrenzt transferierbar sind (Joisten, Liu et al., 2021; Singer et al., 2022; Weber et al., 2019), ergibt sich die Notwendigkeit der wiederholten Durchführung von experimentellen Untersuchungen in Deutschland. Dabei sollte Versuchspersonen auch die Möglichkeit des Erlebens von Fehlern der Automation gegeben werden, um die Kalibrierung des Vertrauens zu untersuchen (Kaleefathullah et al., 2022). Außerdem sollten weitere Forschungen experimentelle Untersuchungen zu Verhaltensanpassungen von zu Fuß gehenden Personen in Szenarien durchführen, in denen ein hochautomatisierter Pkw stärker von den Erwartungen von zu Fuß gehenden Personen abweicht (vgl. Imbsweiler, Stoll et al., 2018), wie bspw. bei einem Nothalt eines hochautomatisierten Pkw. Die Forschung sollte hierbei eine Abwägung zwischen Szenarien mit hoher externer Validität und experimentellen Untersuchungsszenarien treffen, um das Verhalten von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw zu untersuchen (vgl. Kaß et al., 2020).

---

Zusammenfassend sollten mehr experimentelle Untersuchungen mit Messwiederholungen durchgeführt werden, die eine größere Anzahl an Szenarien der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw beinhalten.

### 6.3.2 Implikationen für die Praxis

Die Übertragbarkeit und Implementierung der Untersuchungsergebnisse in die Praxis werden hinsichtlich der Relevanz der Forschungsergebnisse diskutiert. Dabei werden die verschiedenen Anspruchsgruppen im Rahmen einer Einführung von hochautomatisierten Pkw adressiert.

Für die menschenzentrierte **Entwicklung von hochautomatisierten Pkw und MMS** zeigen die Untersuchungen, dass zu Fuß Gehende von hochtransparenten eMMS stärker profitieren als von niedrigtransparenten eMMS, die nur den Automationsstatus des Pkw signalisieren. Die Erkenntnis beruht auf den empirischen Befunden zu der positiven subjektiven Bewertung (Vertrauen und mentales Modell) und zu der Bereitschaft zur Querung vor hochautomatisierten Pkw mit nachgebender Fahrstrategie. Eine weitere zentrale Erkenntnis der Untersuchungen ist, dass die dMMS von Pkw als Kommunikationsschnittstelle zwischen zu Fuß Gehenden und Pkw auch im Kontext der Fahrzeugautomatisierung nach wie vor ein wichtiger Gestaltungsparameter der MMS von hochautomatisierten Pkw ist (Ackermann, Beggiato, Bluhm et al., 2019), weil sie die etablierten Entscheidungsheuristiken von zu Fuß Gehenden unterstützt. Daraus wird geschlossen, dass dMMS- und eMMS-Konzepte aufeinander abgestimmt, ganzheitlich und menschenzentriert entwickelt werden sollten (vgl. Joisten, Freund & Abendroth, 2020).

Die Art und der Typ der Automationstransparenz von hochautomatisierten Pkw sollte als übergeordnete Zielstellung kooperative Handlungen zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw ermöglichen und fördern, d. h. sie sollte die Zielstellungen aller Agenten der Interaktion berücksichtigen (vgl. Hoc, 2001). Diesbezüglich sollten weitere Typen der Informationstransparenz, die über die in dieser Arbeit untersuchten Typen hinausgehen, Eingang in die menschenzentrierte Entwicklung der MMS von hochautomatisierten Pkw erhalten. Bei der Entwicklung sollten auch die Fahrzeuginsassen berücksichtigt werden (Bengler et al., 2020), die über die kommunikativen Handlungen des hochautomatisierten Pkw über die fahrzeuginterne MMS informiert werden sollten (vgl. Stange et al., 2022), um ein entsprechendes Modus- und Situationsbewusstsein zu erhalten.

Für die **Organisation der Einführung von hochautomatisierten Pkw** sind die Erkenntnisse der Untersuchungen hinsichtlich des Zusammenhangs von Interaktionserfahrung und subjektiver Bewertung und Bereitschaft zur Querung relevant. Eine Kalibrierung des Vertrauens von zu Fuß Gehenden findet u. a. nach der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw statt. Die Erkenntnisse der Interviewstudie zeigen, dass bereits heute Vorbehalte bezüglich des hochautomatisierten Fahrens von zu Fuß gehenden

---

Personen in Deutschland existieren. Diese Vorbehalte sollten durch Informationskampagnen abgebaut werden, die den Personen ermöglichen ein akkurates mentales Modell bezüglich der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw zu entwickeln. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse des kontrollierten Feldtests, dass die Effekte einer zunehmenden Erfahrung auf die Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden von dem erlebten Szenario und der erlebten Fahrstrategie abhängen. Um die Einführung von hochautomatisierten Pkw in den urbanen Straßenverkehr zu unterstützen, sollten die Fahrzeuge zunächst nur in solchen Betriebsbereichen eingeführt werden, in denen die Erwartungen der zu Fuß Gehenden bezüglich der Interaktion mit Fahrzeugen bekannt sind. Die Erwartungen könnten bspw. durch Beobachtungsstudien im Straßenverkehr erhoben werden (vgl. Madigan et al., 2019).

Eine vollständige Segregation von hochautomatisierten Pkw und Menschen im urbanen Straßenverkehr durch infrastrukturelle Maßnahmen (vgl. Parkin et al., 2018) bei der Einführung von hochautomatisierten Pkw wäre mit dem Vorteil verbunden, dass technologische Potentiale des hochautomatisierten Fahrens verwirklicht werden können (vgl. Fagnant & Kockelman, 2015). Demgegenüber wäre diese organisatorische Maßnahme mit hohen Kosten durch die Veränderung der Infrastruktur von Städten verbunden und würde auf Probleme der gesellschaftlichen Akzeptanz treffen (Tabone et al., 2021). Sobald ein hochautomatisierter Pkw im Mischverkehr aus automatisierten und nicht automatisierten Verkehrsteilnehmenden fährt, sollte dieser die Möglichkeit zur Kommunikation mittels eMMS besitzen (vgl. Joisten, Müller & Abendroth, 2022).

Die Rolle des **Menschen** als zu Fuß gehende Person im Straßenverkehr ist bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw zufällig und anonym, d. h. eine intentionale Interaktion kann nicht per se unterstellt werden. Aus dieser Rolle der zufällig Nutzenden (Domeyer et al., 2020; Inbar & Tractinsky, 2009) resultieren Herausforderungen für die Interaktionsgestaltung, die bspw. auf die Vielfalt der Personen und ihre Ziele in der Situation sowie Erwartungen an das hochautomatisierte Fahrzeug zurückzuführen sind. Dementsprechend muss nicht nur die Anpassung der Technologie an den Menschen im Sinne einer menschenzentrierten Entwicklung (vgl. Deutsches Institut für Normung e.V., 2020b) von eMMS und dMMS eines hochautomatisierten Pkw in der Praxis thematisiert werden, sondern auch die Anpassung des Menschen an die Technologie. Dies kann durch gezielte Trainings erfolgen, die Menschen in der Rolle von zu Fuß Gehenden auf die Interaktion mit hochautomatisierten Pkw vorbereiten.

Zusammenfassend sollte die Zielgröße der Einführung von hochautomatisierten Pkw in den urbanen Straßenverkehr die Erhöhung der Verkehrssicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden sein. Die eMMS eines hochautomatisierten Pkw kann dazu beitragen, das Vertrauen von zu Fuß Gehenden in hochautomatisierte Pkw zu erhöhen und als Schnittstelle zwischen dem mentalen Modell des Menschen und dem konzeptuellen Modell der Technologie(-entwicklung) dienen.

---

## 6.4 Fazit

Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung von Verhaltensanpassungen zu Fuß Gehender bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw unter dem Aspekt zunehmender Interaktionserfahrung des Menschen. Die Ergebnisse zeigen, dass in Abhängigkeit der Fahrstrategie und der Automationstransparenz die Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden mit zunehmender *Erfahrung* bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw zunimmt. Des Weiteren zeigen die empirischen Ergebnisse, dass das Vertrauen in hochautomatisierte Pkw von zu Fuß Gehenden mit zunehmender Interaktionserfahrung zunimmt. Demgegenüber wird das mentale Modell der Personen bezüglich hochautomatisierter Pkw durch die Interaktionserfahrung nicht im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen beeinflusst.

Als Variable der technologischen Gestaltung der Kommunikation zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw wurde zudem die *Automationstransparenz* über die eMMS untersucht. Die empirischen Erkenntnisse erweitern entsprechende experimentellen Untersuchungen ohne Messwiederholungen. Aus den Ergebnissen wird die Empfehlung abgeleitet, dass hochautomatisierte Pkw mit einer hohen Automationstransparenz gestaltet werden sollten, wenn diese mit zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr interagieren sollen.

In zwei empirischen Untersuchungen wurden mit Hilfe von unterschiedlichen methodischen Ansätzen umfassende Daten generiert, die für weitere Forschungen und Analysen zur Verfügung stehen. Der Mixed-Method-Ansatz trug zur tiefgehenden Analyse der Zielstellungen der Arbeit bei. In Ergänzung zu klassischen Kennwerten der Lückenakzeptanztheorie wurde in einem kontrollierten Feldtest ein innovativer Score genutzt, der die Bereitschaft zur Querung von zu Fuß Gehenden vor Pkw erfasst. Als Ausblick sollte die Validierung des Scores in unterschiedlichen Untersuchungsumgebungen erfolgen, um eine Vergleichbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse dieser Arbeit zu ermöglichen

Diese Arbeit bietet für das Forschungsfeld der Mensch-Maschine-Interaktion und speziell für den Kontext der Interaktion zwischen zu Fuß Gehenden und hochautomatisierten Pkw einen Mehrwert, weil bislang experimentelle Untersuchungen zu Erfahrungseffekten von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw in realitätsnahen Untersuchungsumgebungen fehlen. Auf den Ergebnissen dieser Arbeit kann zur Ableitung und Entwicklung von weiterführenden Hypothesen und Untersuchungsdesigns aufgebaut werden. Die verwendeten Theorien und Modellierungen im Arbeitsmodell und im empirischen Untersuchungsmodell können als Ausgang für erweiternde Untersuchungen mit Messwiederholungen dienen.

---

## Glossar

---

Dieses Wörterverzeichnis erläutert die wesentlichen Begriffe und Definitionen, die dieser Arbeit zugrunde liegen.

**Agent.** „abgrenzbare (...) Einheit mit definierten Zielen, die sich auf die Steuerung (...) eines technischen Systems beziehen. Ein Agent ist darauf ausgelegt, diese Ziele durch selbstständiges Verhalten zu erreichen und interagiert dabei mit seiner Umgebung und anderen Agenten.“ (Verein Deutscher Ingenieure, 2018, S. 4); im Sinne dieser Arbeit werden neben Hard- und Softwareeinheiten auch Menschen als Agenten bezeichnet.

**Arbeitswissenschaft.** Die systematische „Analyse, Ordnung und Gestaltung der technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen mit dem Ziel, dass die arbeitenden Menschen in produktiven und effizienten Arbeitsprozessen schädigungslose, ausführbare, erträgliche und beeinträchtigungsfreie Arbeitsbedingungen vorfinden, Standards sozialer Angemessenheit nach Arbeitsinhalt, Arbeitsaufgabe, Arbeitsumgebung sowie Entlohnung und Kooperation erfüllt sehen, Handlungsspielräume entfalten, Fähigkeiten erwerben und in Kooperation mit anderen ihre Persönlichkeit erhalten und entwickeln können.“ (Luczak und Volpert, 1987, zitiert nach Schlick et al., 2018, S. 5)

**Automation.** „Jede Sensorik, Wahrnehmung, Informationsverarbeitung, Entscheidungsfindung oder Steuerung, die von Menschen durchgeführt werden könnte, aber tatsächlich von einer Maschine durchgeführt wird“ (Moray et al., 2000, S. 44).

**Automationsstatus.** „(...) current operating mode of the driving automation system (...)“ (SAE International, 2016, S. 6)

**Automationstransparenz.** Ein Prinzip in der Gestaltung von automatisierten Systemen, das darauf abzielt, ein Bewusstsein des Menschen über den Zustand, die Wahrnehmung und Absicht sowie die Fähigkeit des automatisierten Systems herzustellen (Lyons & Havig, 2014; Skraaning & Jamieson, 2021)

**Benutzungsschnittstelle.** „Gesamtheit der Bestandteile eines interaktiven Systems, die Informationen und Steuerelemente zur Verfügung stellen, die für den Benutzer notwendig sind, um bestimmte Aufgabe mit dem interaktiven System zu erledigen“ (DIN EN ISO 9241-110, S. 10).

**Bereitschaft zur Querung.** Absicht bzw. Vorsatz einer zu Fuß gehenden Person, eine Straße zu queren oder nicht zu queren



---

**Bereitschaft zur Querung Score (BQS).** prozentualer Anteil der Bereitschaft zur Querung einer Versuchsperson in Abhängigkeit des Interaktionsintervalls von 45 m bis 2 m in einer Auflösung von 0,1 m Inkrementen interpretierbar ist (vgl. Clercq et al., 2019); siehe auch Kapitel 5.1.10

**Dynamische Fahrzeugführungsaufgabe.** Die dynamische Fahrzeugführungsaufgabe umfasst im Sinne dieser Arbeit alle Aufgaben, die für den Betrieb eines Kraftfahrzeugs im Straßenverkehr notwendig sind (vgl. SAE International, 2021), wie bspw. die Lokalisation in einem Umfeld, die Wahrnehmung von Objekten, die Planung von Manövern und die Kontrolle sowie die Ausführung von (Re-)Aktionen (Coppola & Morisio, 2016).

**Erfahrung.** „das durch (meist wiederholtes) Wahrnehmen und Erleben (...) gewonnene Wissen“ (Wirtz & Dorsch, 2017, S. 513) eines Menschen. Erfahrung wird auch als bestätigtes Erkenntnis definiert, die durch Beobachtung und Reflektionen gewonnen wird (Kolb, 1984). Sie formt Erwartungen des Menschen bezüglich eines Vorgangs, indem der Mensch aus Erfahrungen Regeln ableitet und diese anwendet (Hacker & Sachse, 2014). Dabei ist das Konstrukt der Erfahrung eng mit dem Konstrukt des Lernens verbunden (Kolb, 1984).

**Ergonomie.** „Wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Menschen und anderen Elementen eines Systems befasst, und der Berufszweig, der Theorie, Grundsätze, Daten und Verfahren auf die Gestaltung von Arbeitssystemen anwendet mit dem Ziel, das Wohlbefinden des Menschen und die Leistung des Gesamtsystems zu optimieren“ (Deutsches Institut für Normung e.V., 2020b, S. 9)

**Fahrerassistenzsystem (FAS) / Advanced Driver Assistance Systems (ADAS).** “commonly used to describe a broad range of features, including those that provide warnings and/or momentary intervention, such as forward collision warning (FCW) systems, lane keeping assistance (LKA) systems, and automatic emergency braking (AEB) systems, as well as some convenience features that involve Level 1 driver support features, such as ACC and certain parking assistance features.” (SAE International, 2021, S. 31)

**Fahrumgebung.** Als Fahrumgebung werden in der Systemtechnik alle Elemente bezeichnet, die auf den Prozess der Informationsumwandlung durch die Systemelemente Mensch-Fahrzeug einwirken (angelehnt an Bubb, 2015b, S. 34). Die Elemente der Fahrumgebung können sich auf andere Fahrzeuge, zu Fuß gehende Personen, Objekte, Beschilderung, Fahrbahntyp oder Wetterbedingungen beziehen, die alle den aktuellen oder vorhergesagten Zustand der Systemelemente Mensch-Fahrzeug während der Fahrt beeinflussen können (SAE International, 2016, S. 7).

---

**Fußverkehr.** Eine eigenständige Verkehrsart zur Fortbewegung im Straßenverkehr und dabei insbesondere auch Bestandteil anderer Mobilitätsformen, indem andere Verkehrsträger miteinander verbunden werden. (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2022)

**Fahrmodus - bedingt automatisiert (SAE Level 3).** Kommt es zu Übergängen in der Ausführung der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe zwischen Nutzenden und Automation, bspw. aufgrund von Automationsfehlern oder Übergängen des operativen Betriebsbereichs, muss ab dem Automationslevel SAE Level 3 und niedriger der Mensch die dynamische Fahrzeugführungsaufgabe von dem automatisierten Fahrzeug übernehmen. (SAE International, 2021)

**Fahrmodus - hochautomatisiert (SAE Level 4).** Bei hochautomatisierten Fahrmodus können alle Aufgaben der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe zu jedem Zeitpunkt, jedoch nur in bestimmten operativen Betriebsbereichen, von der Automatisierung ausgeführt werden. (SAE International, 2021)

**Fahrmodus - konventionell (SAE Level 0).** Alle Aufgaben der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe werden vom Menschen im Fahrzeug ausgeführt. (SAE International, 2021)

**Fahrmodus - vollautomatisiert (SAE Level 5).** alle Aufgaben der dynamischen Fahrzeugführungsaufgabe werden in jeder Fahrumgebung und zu jedem Zeitpunkt durch die Automatisierung ausgeführt. (SAE International, 2021)

**Human Factors.** siehe Ergonomie

**Information.** „a stimulus originating in one system that affects the interpretation by another system of either the second system’s relationship to the first or of the relationship the two systems share with a given environment (...)” (Madden, 2000, S. 348)

**Intention.** „(...) die Absicht bzw. ein Vorsatz, eine best. Handlung durchzuführen bzw. ein best. Ziel (...) zu erreichen.“ (Puca, 2017, S. 814)

**Interaktion.** „wird als das mehr oder weniger aufeinander abgestimmte Verhalten zweier oder mehrerer Individuen angesehen, wobei das Agieren jedes einzelnen Individuums eine zu berücksichtigende Voraussetzung für das Agieren der anderen darstellt“ (Risser et al., 1991, S. 19)

**Kommunikation.** „Prozeß, durch den Sender und Empfänger von Aussagen innerhalb eines gegebenen sozialen Kontexts in Interaktion treten“ (Merten, 1977a, S. 62)

**Kommunikation - explizite.** Solche kommunikativen Handlungen, bei denen die handelnde Person eine Intention an die beobachtende Person übermittelt (Dey & Terken, 2017) und dabei meist sichtbar

---

und mehr oder weniger deutlich zu verstehende Signale verwendet (Imbsweiler, Ruesch et al., 2018).

**Kommunikation - implizite.** „A road user behaviour which affects own movement or perception, but which can at the same time be interpreted as signalling something to or requesting something from another road user.“ (Markkula et al., 2020, S. 741)

**Kontrollüberzeugung.** Persönlichkeitseigenschaft, die in internale und externale Überzeugung unterschieden wird (Kovaleva et al., 2014). Individuen mit ausgeprägter interner Kontrollüberzeugung sind davon überzeugt, dass sie Ereignisse kontrollieren können und erleben diese als Konsequenz des eigenen Verhaltens. Demgegenüber beschreibt die externe Kontrollüberzeugung das Ausmaß, in dem Individuen davon überzeugt sind, keinen Einfluss auf Ereignisse zu haben.

**Konzeptuelles Modell.** In Abgrenzung zum mentalen Modell, zielt das konzeptuelle Modell auf eine akkurate Repräsentation des Systems ab, d. h. es ist genau, vollständig und konsistent. Das konzeptuelle Modell wird nicht von den interagierenden, sondern von den Personen gebildet, die das System gestalten bzw. entwickeln. (vgl. Norman, 1990)

**Kooperation.** „Two agents are in a cooperative situation if they meet two minimal conditions. (1) Each one strives towards goals and can interfere with the other on goals, resources, procedures, etc. (2) Each one tries to manage the interference to facilitate the individual activities and/or the common task when it exists. The symmetric nature of this definition can be only partly satisfied.“ (Hoc, 2001, S. 515)

**Lernen.** Im Sinne dieser Arbeit wird der Begriff des Lernens in drei Facetten definiert: (1) *intentionales Lernen* – „ein Lernen (...), das absichtlich, etwa gemäß einer Instruktion bzw. eines Lehr- oder Lernziels (...) erfolgt.“ (Wirtz & Dorsch, 2017, S. 1007). (2) *inzidentelles Lernen* – „beiläufiges Lernen (Erfahrungsbildung). Während des absichtlichen Lernens (...) werden neben denjenigen Inhalten, die eingeprägt werden sollen, auch noch andere aufgefasst und behalten, die nicht zu lernen waren.“ (Wirtz & Dorsch, 2017, S. 1007). (3) *inkrementelles Lernen* – „kontinuierliches Lernen, im Ggs. Zum Ein-Versuch-Lernen (...), soll die assoziative Verbindung zw. Reiz und Response in Schüben mit messbaren Zuwachsraten (schrittweise) erfolgen. Mit wiederholten Versuchsdurchgängen (...) wird die Stärke der Verhaltensbereitschaft (...) graduell oder inkrementell aufgebaut.“ (Rock, 2017, S. 1007)

**Lückenakzeptanz.** Die Theorie der Lückenakzeptanz wird bei der Analyse von Entscheidungen von zu Fuß Gehenden, eine Straße zu queren oder nicht zu queren, verwendet (Theofilatos et al., 2021), wobei die Zeit, die einer zu Fuß gehenden Person zur Querung vor einem Pkw zur Verfügung steht, üblicherweise die Grundlage für die Lückenakzeptanz zu Fuß Gehender bildet (Petzoldt,

---

2014). Es wird postuliert, dass jede Person eine kritische, akzeptable Lückenschwelle hat (siehe TTA, minimale TTA), die für die Entscheidung, die Straße vor einem Fahrzeug zu queren oder nicht zu queren, herangezogen wird (Theofilatos et al., 2021).

**Lücke - minimale.** der räumliche Abstand (in m) zwischen zu Fuß gehender Person und Fahrzeug bei der minimalen TTA

**Mensch-Maschine-Interaktion.** „Austausch von Informationen zwischen einem (...) [Menschen] und [einer Maschine bzw.] einem interaktiven System mittels der Benutzungsschnittstelle zur Vervollständigung der vorgesehenen Aufgabe“ (angelehnt an die Definition der Benutzer-System-Interaktion in Deutsches Institut für Normung e.V., 2020a, S. 10)

**Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS).** siehe Benutzungsschnittstelle

**Mensch-Maschine-Schnittstelle - externe (eMMS).** In wissenschaftlichen Veröffentlichungen, Medien, Patenten und Industriekonzepten solche MMS-Gestaltungslösungen, die für die *explizite Kommunikation* von (automatisierten) Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden genutzt werden (Dey, Habibovic, Löcken et al., 2020). Die eMMS eines (automatisierten) Fahrzeugs sind zum einen *konventionelle eMMS*, wie bspw. die Bremsleuchte am Fahrzeugheck oder Fahrtrichtungsanzeiger, und zum anderen *neue, nicht standardisierte eMMS-Gestaltungslösungen*, die über die normierten Signale der eMMS eines Fahrzeugs an andere Verkehrsteilnehmende hinausgehen (Y. M. Lee et al., 2022).

**Mensch-Maschine-Schnittstelle - dynamische (dMMS).** Die dMMS, die sowohl Fahrzeugnutzende als auch andere Verkehrsteilnehmende adressiert, übermittelt über die Fahrzeugbewegung Informationen an Menschen im Innen- und Außenraum. (Bengler et al., 2020)

**Menschzentrierte Gestaltung.** „Herangehensweise bei der Gestaltung und Entwicklung von Systemen, die darauf abzielt, interaktive Systeme gebrauchstauglicher zu machen, indem sie sich auf die Verwendung des Systems konzentriert und Kenntnisse und Techniken aus den Bereichen der Arbeitswissenschaft/Ergonomie und der Gebrauchstauglichkeit anwendet.“ (Deutsches Institut für Normung e.V., 2020b, S. 9)

**Mentales Modell.** Mentale Modelle sind definiert als individuelle, interne Repräsentationen der externen Realität, die eine Person dazu verwendet, um mit der Umgebung zu interagieren (Jones et al., 2011). Für eine bestimmte Situation schaffen mentale Modelle das Verständnis des Menschen darüber, was ein System beinhaltet, wie es funktioniert und warum es auf eine bestimmte Art und Weise funktioniert (Carroll & Olson, 1987).

**Risiko.** „a measure of the probability and severity of adverse effects.“ (Lowrance, 1976, zitiert nach Haines, 2009, S. 1648)

---

**Risikowahrnehmung im Straßenverkehr.** das subjektive Empfinden eines Risikos in verschiedenen Situationen des Straßenverkehrs (Dinh, Vü et al., 2020)

**SAE Level.** siehe Fahrmodus

**Selbstwirksamkeit.** Beschreibt die Einschätzung der eigenen Kompetenzen, Handlungen, auch in schwierigen Situationen, erfolgreich aus eigener Kraft bewältigen zu können (Hinz et al., 2006)

**Sensationsuche.** Persönlichkeitseigenschaft, die zur Beschreibung des Risikoverhaltens von Individuen herangezogen wird (siehe Roth & Mayerhofer, 2003)

**Shared Space.** Konzept der Verkehrsflächenplanung (vgl. Hamilton-Baillie, 1978); „bezeichnet eine Begegnungszone, in der auf Verkehrszeichen, Signalanlagen und Fahrbahnmarkierungen weitestgehend verzichtet wird. Alle Verkehrsteilnehmer sind gleichberechtigt.“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2023)

**Soziale Normen.** „(...) Regeln, die sich auf Verhalten, aber auch auf Emotionen und Kognitionen beziehen und in Gruppen und/oder Gesellschaften einen gewissen Verbindlichkeitsgrad haben.“ (Six, 2017, S. 1190)

**Straßenverkehr.** „hochgradig geregeltes, normativ abgesichertes, flüchtiges Sozialverhalten vieler zueinander anonymere“ Menschen (Merten, 1977b, S. 115)

**Time-to-Arrival (TTA).** die verbleibende Zeit (in s) zwischen einer zu Fuß gehenden Person und dem sich nähernden Fahrzeug, die das Fahrzeug bei der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit benötigt, um den Standort der Person zu erreichen (Feldstein & Dyszak, 2020)

**Time-to-Arrival – minimal.** die gerade noch von einer zu Fuß gehenden Person akzeptierte TTA, um vor einem Fahrzeug zu queren (vgl. Das et al., 2005)

**Verhalten.** Motorische Aktivität des Menschen und allgemeine menschliche Reaktion (Kaiser, 2017), die das Erleben sowie insbesondere die damit verbundenen kognitiven Vorgänge im menschlichen Organismus als einen Aspekt des Verhaltens einbezieht.

**Verhaltensanpassung.** „Any change of *driver, traveller, and travel* behaviours that occurs following *user interaction* with a change to the road traffic system, *in addition to those behaviours specifically and immediately targeted* by the initiators of the change.“ (Kulmala & Rämä, 2013, S. 20)

**Vertrauen.** „the attitude that an agent will help achieve an individual’s goal in a situation characterized by uncertainty and vulnerability“ (J. D. Lee & See, 2004, S. 54)

---

**Vertrauen - dispositiv.** bezieht sich auf eine individuelle, situationsunabhängige Tendenz einem automatisierten System zu Vertrauen, die durch Kultur, Alter, Geschlecht und Persönlichkeitseigenschaften beeinflusst wird (Hoff & Bashir, 2015)

**Vertrauen - dynamisch erlernt.** Entwickelt sich während der Interaktion mit einem automatisierten System und ist damit Teil einer dynamischen Wechselwirkung zwischen der Leistungsfähigkeit bzw. den Eigenschaften eines automatisierten Systems und dem Vertrauen der Person in das automatisierte System (Hoff & Bashir, 2015)

**Vertrauen - initial erlernt.** setzt sich aus dem Wissen einer Person über ein automatisiertes System zusammen und formt die Erwartungen an die Interaktion, wobei die gesammelten Erfahrungen mit dem automatisierten System oder ähnlichen Technologien von hoher Relevanz sind, weil sie das Verständnis der Person über den Zweck und Prozess eines automatisierten Systems fördern (Hoff & Bashir, 2015)

**Vertrauen - kalibriert.** Die Vertrauenskalibrierung beschreibt einen Zusammenhang zwischen Vertrauen und Leistungsfähigkeit bzw. Systemeigenschaften und -grenzen eines automatisierten Systems (J. D. Lee & See, 2004). Ein kalibriertes Vertrauen wird erreicht, wenn das Vertrauen der Person der Leistungsfähigkeit des automatisierten Systems gleicht.

**Vertrauen - situativ.** gliedert sich in mensch- und umweltbezogene Einflussgrößen, wie die Aufmerksamkeit des Menschen und die Situation im Straßenverkehr, sowie automationsbezogene Einflussgrößen, die sich auf das automatisierte System, dessen Art und Komplexität und die mit der Interaktion einhergehende Aufgabenschwierigkeit beziehen (Hoff & Bashir, 2015)

**Wahrnehmung.** „Vorgang und Ergebnis der Reizverarbeitung (). Das Ergebnis ist ein Abbild obj.-realer Umwelt und der eigenen Person (Innenwelt).“ (Wirtz & Dorsch, 2017, S. 1813)

**Wiederholung.** erneute Durchführung eines Versuchsdurchgangs (engl. trial) unter gleichbleibenden (quasi-)experimentellen Bedingungen

**Wizard-Of-Oz (WoOz) Experiment.** Experimentelle Methode zur Untersuchung der Interaktion zwischen Menschen und vermeintlich autonom agierenden Systemen (Kelley, 1984)

---

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1-1: Zeitreihe der innerhalb von Ortschaften verunglückten zu Fuß Gehenden .....	1
Abbildung 1-2: Aufbau der Arbeit .....	5
Abbildung 2-1: Modell der Risiko-Homöostase .....	8
Abbildung 2-2: Qualitatives Modell der Verhaltensanpassung .....	9
Abbildung 2-3: Klassifikation des Verhaltens von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr .....	19
Abbildung 2-4: Personenbezogene und umweltbezogene Einflussgrößen auf die Interaktion von zu Fuß Gehenden mit anderen Verkehrsteilnehmenden .....	23
Abbildung 2-5: Vereinfachter Interaktionsprozess zwischen zu Fuß Gehenden und Pkw-Fahrenden ...	26
Abbildung 2-6: Zusammenhang von Vertrauen und Fähigkeiten eines automatisierten Systems .....	29
Abbildung 2-7: Arbeitsmodell .....	38
Abbildung 3-1: Untersuchungsszenario der Interviewstudie .....	44
Abbildung 3-2: Bildung von Kategorien in der Interviewstudie .....	48
Abbildung 3-3: Einflussgrößen auf die Bereitschaft zur Querung im Szenario der Interviewstudie .....	56
Abbildung 4-1: Empirisches Untersuchungsmodell mit Hypothesen .....	61
Abbildung 5-1: Wizard-of-Oz Pkw. ....	72
Abbildung 5-2: eMMS Konzepte im kontrollierten Feldtest. ....	73
Abbildung 5-3: Schematische Darstellung des Messsystems .....	75
Abbildung 5-4: Videoexperiment zur Lückenakzeptanz .....	76
Abbildung 5-5: Untersuchungsszenario des kontrollierten Feldtests .....	76
Abbildung 5-6: Regressionskurven der gemessenen Geschwindigkeit .....	77
Abbildung 5-7: Schematischer Versuchsaufbau des kontrollierten Feldtests .....	79
Abbildung 5-8: Ablauf des kontrollierten Feldtests .....	82
Abbildung 5-9: Verteilung und Exklusion der Versuchspersonen des kontrollierten Feldtests .....	82
Abbildung 5-10: Lückenakzeptanz in % gemessen im Videoexperiment .....	89
Abbildung 5-11: Bereitschaft der Versuchspersonen zur Initiierung einer Querung vor dem Fahrzeug in % in Abhängigkeit des Abstands zum nicht nachgebenden Pkw .....	90
Abbildung 5-12: Liniendiagramm der Ergebnisse zur <i>Minimalen Lücke</i> im Szenario mit nicht nachgebender Fahrstrategie .....	92
Abbildung 5-13: Bereitschaft der Versuchspersonen zur Initiierung einer Querung vor dem Fahrzeug in % in Abhängigkeit des Abstands zum nachgebenden Pkw .....	93
Abbildung 5-14: Liniendiagramm der Ergebnisse zum <i>Bereitschaft zur Querung Score (BQS)</i> im Szenario mit nachgebender Fahrstrategie .....	96
Abbildung 5-15: Boxplots der Ergebnisse zum <i>Vertrauen</i> .....	99
Abbildung 5-16: Boxplots der Ergebnisse zum <i>Misstrauen</i> .....	100

---

Abbildung 5-17: Minimale Lücke in m zur Initiierung einer Querung vor dem nicht nachgebendem Pkw in Abhängigkeit der Wiederholung des Versuchs .....	104
Abbildung 5-18: Bereitschaft zur Querung Score in % zur Initiierung einer Querung vor dem nachgebenden Pkw in Abhängigkeit der Wiederholung des Versuchs.....	105
Abbildung 5-19: Regression des <i>Bereitschaft zur Querung Scores (BQS)</i> {t1} auf das initial erlernte <i>Vertrauen in den hochautomatisierten Pkw</i> {t0} .....	106
Abbildung 5-20: Erfahrungsbasierter Lernzyklus nach Kolb .....	119
Abbildung 5-21: Geprüftes empirisches Untersuchungsmodell mit Hypothesen.....	124



---

---

## Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 2-1: Charakteristik der Phasen der Bildung und Entwicklung einer Verhaltensanpassung .....	10
Tabelle 2-2: Klassifikation der Automationstransparenz.....	14
Tabelle 2-3: Kommunikationsinhalte von automatisierten Fahrzeugen .....	16
Tabelle 2-4: Empirische Befunde zu Erfahrungseffekten von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw .....	33
Tabelle 2-5: Klassifikation des Untersuchungsdesigns von Interviewstudie und kontrolliertem Feldtest .....	39
Tabelle 3-1: Kategorien- und Code-System zu Beginn der Auswertung der Interviewstudie.....	46
Tabelle 5-1: Experimentelles Design .....	67
Tabelle 5-2: Erhebungsinstrument zum mentalen Modell der Versuchspersonen von einem hochautomatisierten Pkw .....	70
Tabelle 5-3: Signale der eMMS nach der Fahrstrategie im kontrollierten Feldtest .....	81
Tabelle 5-4: Zusammensetzung des bereinigten Datensatzes des kontrollierten Feldtests.....	83
Tabelle 5-5: $\alpha$ -Koeffizient von Cronbach für die Subskalen des Fragebogens zum Vertrauen.....	84
Tabelle 5-6: Interpretationswerte für die Effektgröße .....	86
Tabelle 5-7: Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD) und Ergebnisse des Vergleichs zwischen den Gruppen für die eingesetzten standardisierten Fragebögen.....	88
Tabelle 5-8: Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD) und Ergebnisse der dreifaktoriellen gemischten ANOVA für die Variable <i>Minimale Lücke</i> in m.....	91
Tabelle 5-9: Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD) und Ergebnisse der dreifaktoriellen gemischten ANOVA für die Variable <i>Bereitschaft zur Querung Score</i> (BQS).....	95
Tabelle 5-10: Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD) und Ergebnisse der zweifaktoriellen gemischten ANOVA für die Variable <i>Vertrauen</i> .....	98
Tabelle 5-11: Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD) und Ergebnisse der zweifaktoriellen gemischten ANOVA für die Variable <i>Misstrauen</i> .....	99
Tabelle 5-12: Median (Mdn) in Abhängigkeit der Automationstransparenz und Erfahrung für die Items des Fragebogens zum <i>mentalen Modell</i> .....	103
Tabelle 5-13: Spearman Rangkorrelationskoeffizient .....	105
Tabelle 5-14: Einfluss des hochautomatisierten Fahrmodus auf die Entscheidung zur Querung einer Straße im post-hoc Interview.....	107
Tabelle 5-15: Einflussgrößen des Vertrauens in den hochautomatisierten Pkw im post-hoc Interview .....	108
Tabelle 5-16: Überblick über die beibehaltenen und abgelehnten Hypothesen des empirischen Untersuchungsmodells; abgelehnte Hypothesen sind in grauer Schrift darstellt .....	124

---

## Literaturverzeichnis

---

- Abendroth, B. (2001). *Gestaltungspotentiale für ein PKW-Abstandsregelsystem unter Berücksichtigung verschiedener Fahrertypen*. Ergonomia.
- Ackermann, C., Beggiato, M., Bluhm, L.-F., Löw, A. & Krems, J. F. (2019). Deceleration parameters and their applicability as informal communication signal between pedestrians and automated vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 62, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.03.006>
- Ackermann, C., Beggiato, M., Schubert, S. & Krems, J. F. (2019). An experimental study to investigate design and assessment criteria: What is important for communication between pedestrians and automated vehicles? *Applied ergonomics*, 75, 272–282. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.11.002>
- Ackermans, S., Dey, D., Ruijten, P., Cuijpers, R. H. & Pfleging, B. (2020). The Effects of Explicit Intention Communication, Conspicuous Sensors, and Pedestrian Attitude in Interactions with Automated Vehicles. In *CHI'20: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Honolulu, HI, USA* (S. 1–14). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376197>
- Adminaité-Fodor, D. & Jost, G. (2020). *How Safe is Walking and Cycling in Europe?* (PIN Flash Report Nr. 38). <https://etsc.eu/how-safe-is-walking-and-cycling-in-europe-pin-flash-38/>
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association: The official guide to APA style* (7. Aufl.). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/0000165-000>
- Andersson, J., Habibovic, A. & Rizgary, D. (2021). First encounter effects in testing of highly automated vehicles during two experimental occasions – The need for recurrent testing. *it - Information Technology*, 63(2), 99–110. <https://doi.org/10.1515/itit-2020-0023>
- Armstrong, D., Gosling, A., Weinman, J. & Marteau, T. (1997). The Place of Inter-Rater Reliability in Qualitative Research: An Empirical Study. *Sociology*, 31(3), 597–606. <https://doi.org/10.1177/0038038597031003015>
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775–779. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(83\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8)
- Bansal, P. & Kockelman, K. M. (2017). Forecasting Americans' long-term adoption of connected and autonomous vehicle technologies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 95, 49–63. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.10.013>

- 
- Bazilinsky, P., Dodou, D. & Winter, J. de (2019). Survey on eHMI concepts: The effect of text, color, and perspective. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 67, 175–194. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.10.013>
- Bazilinsky, P., Kooijman, L., Dodou, D. & Winter, J. de (2021). How should external human-machine interfaces behave? Examining the effects of colour, position, message, activation distance, vehicle yielding, and visual distraction among 1,434 participants. *Applied ergonomics*, 95, 103450. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103450>
- Bazilinsky, P., Sakuma, T. & Winter, J. de (2021). What driving style makes pedestrians think a passing vehicle is driving automatically? *Applied ergonomics*, 95, Artikel 103428. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103428>
- Beggiato, M. & Krems, J. F. (2013). The evolution of mental model, trust and acceptance of adaptive cruise control in relation to initial information. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 18, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2012.12.006>
- Beggiato, M., Pereira, M., Petzoldt, T. & Krems, J. (2015). Learning and development of trust, acceptance and the mental model of ACC. A longitudinal on-road study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 35, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.10.005>
- Beggiato, M., Witzlack, C., Springer, S. & Krems, J. (2018). The Right Moment for Braking as Informal Communication Signal Between Automated Vehicles and Pedestrians in Crossing Situations. In N. A. Stanton (Hrsg.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (Bd. 597, S. 1072–1081). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1\\_101](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_101)
- Beierlein, C., Kovaleva, A., Kemper, C. J. & Rammstedt, B. (2014). *Allgemeine Selbstwirksamkeit Kurzsкала (ASKU)*. Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen (ZIS). <https://doi.org/10.6102/zis35>
- Bellet, T., Laurent, S., Bornard, J.-C., Hoang, I. & Richard, B. (2022). Interaction between pedestrians and automated vehicles: Perceived safety of yielding behaviors and benefits of an external human–machine interface for elderly people. *Frontiers in Psychology*, 13, Artikel 1021656. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1021656>
- Bengler, K., Rettenmaier, M., Fritz, N. & Feierle, A. (2020). From HMI to HMIs: Towards an HMI Framework for Automated Driving. *Information*, 11(2), 61. <https://doi.org/10.3390/info11020061>
- Blömacher, K., Nöcker, G. & Huff, M. (2020). The evolution of mental models in relation to initial information while driving automated. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 68, 198–217. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.11.003>

- 
- Bonneviot, F., Coeugnet, S. & Brangier, E. (2021). Pedestrians-Automated Vehicles Interaction: Toward a Specific Trust Model? In N. L. Black, W. P. Neumann & I. Y. Noy (Hrsg.), *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)* (Bd. 221, S. 568–574). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7\\_69](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7_69)
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7. Aufl.). Springer Berlin.
- Botello, B., Buehler, R., Hankey, S., Mondschein, A. & Jiang, Z. (2019). Planning for walking and cycling in an autonomous-vehicle future. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 1, Artikel 100012. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2019.100012>
- Brewer, M., Fitzpatrick, K., Whitacre, J. & Lord, D. (2006). Exploration of Pedestrian Gap-Acceptance Behavior at Selected Locations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1982, 132–140. <https://doi.org/10.3141/1982-18>
- Bruder, R., Abendroth, B. & Landau, K. (2007). Zum Nutzen von Fahrversuchen für die Gestaltung. In R. Bruder & H. Winner (Hrsg.), *Darmstädter Kolloquium „mensch + fahrzeug“: Wie objektiv sind Fahrversuche?* (S. 79–95).
- Bruder, R. & Didier, M. (2015). Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (S. 633–645). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-05734-3\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-658-05734-3_34)
- Bubb, H. (2015a). Einführung. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (S. 1–25). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-8348-2297-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-8348-2297-0_1)
- Bubb, H. (2015b). Das Regelkreisparadigma der Ergonomie. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (S. 27–65). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-8348-2297-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-8348-2297-0_2)
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.). (2022). *Sicherheit und Attraktivität des Fußverkehrs*. Abgerufen am 27. Januar 2023, von <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Mobilitaet/Fussverkehr/fussverkehr.html>
- Bundesministerium für Gesundheit (Hrsg.). (2022). *Coronavirus-Pandemie: Was geschah wann? Chronik aller Entwicklungen im Kampf gegen COVID-19 (Coronavirus SARS-CoV-2) und der dazugehörigen Maßnahmen des Bundesgesundheitsministeriums*. Abgerufen am 31. Oktober 2022, von <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/coronavirus/chronik-coronavirus.html>
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (Hrsg.). (2023). *Mobilitäts-Glossar: Shared Space*. Abgerufen am 27. Januar 2023, von <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/mobilitaets-glossar>

- 
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.). (2017). *Bericht der Ethik-Kommission: Automatisiertes und Vernetztes Fahren*. Abgerufen am 30. November 2022, von <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/publikationen/bericht-der-ethik-kommission-729110>
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.). (2018). *Regionalstaistische Raumtypologie (RegioStaR) des BMVI für die Mobilitäts- und Verkehrsforschung: Arbeitspapier V1.1*. Abgerufen am 11. November 2022, von [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/regiostar-arbeitspapier.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/regiostar-arbeitspapier.pdf?__blob=publicationFile)
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.). (2021). *Verkehr in Zahlen 2021/2022*. Abgerufen am 28. Januar 2023, von <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/verkehr-in-zahlen-2021-2022-2001006>
- Cacciabue, P. C., Carsten, O. & Vanderhaegen, F. (2014). Is there still a need for CTW? *Cognition, Technology & Work*, 16(3), 311–317. <https://doi.org/10.1007/s10111-014-0286-y>
- Cambon de Lavalette, B., Tijus, C., Poitrenaud, S., Leproux, C., Bergeron, J. & Thouez, J.-P. (2009). Pedestrian crossing decision-making: A situational and behavioral approach. *Safety Science*, 47(9), 1248–1253. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.03.016>
- Carmona, J., Guindel, C., Garcia, F. & La Escalera, A. de (2021). eHMI: Review and Guidelines for Deployment on Autonomous Vehicles. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(9), Artikel 2912. <https://doi.org/10.3390/s21092912>
- Carroll, J. M. & Olson, J. S. (1987). *Mental models in human-computer interaction: Research issues about what the user of software knows*. National Academy Press.
- Carsten, O. (2013). Early Theories of Behavioural Adaptation. In C. M. Rudin-Brown & S. L. Jamson (Hrsg.), *Behavioural Adaptation and Road Safety: Theory, Evidence and Action* (S. 23–34). CRC Press.
- Cascetta, E., Cartenì, A. & Di Francesco, L. (2022). Do autonomous vehicles drive like humans? A Turing approach and an application to SAE automation Level 2 cars. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 134, Artikel 103499. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103499>
- Casner, S. M. & Hutchins, E. L. (2019). What Do We Tell the Drivers? Toward Minimum Driver Training Standards for Partially Automated Cars. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 13(2), 55–66. <https://doi.org/10.1177/1555343419830901>
- Ceunynck, T. de, Polders, E., Daniels, S., Hermans, E., Brijs, T. & Wets, G. (2013). Road Safety Differences between Priority-Controlled Intersections and Right-Hand Priority Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2365(1), 39–48. <https://doi.org/10.3141/2365-06>

- 
- Chan, T. K. & Chin, C. S. (2021). Review of Autonomous Intelligent Vehicles for Urban Driving and Parking. *Electronics*, 10(9), Artikel 1021. <https://doi.org/10.3390/electronics10091021>
- Clamann, M., Aubert, M. & Cummings, M. L. (2017). Evaluation of Vehicle-to-Pedestrian Communication Displays for Autonomous Vehicles. In *Transportation Research Board 96th Annual Meeting*. Abgerufen am 21. Dezember 2022, von [https://hal.pratt.duke.edu/sites/hal.pratt.duke.edu/files/u10/Clamann\\_et\\_al\\_TRB2016.pdf](https://hal.pratt.duke.edu/sites/hal.pratt.duke.edu/files/u10/Clamann_et_al_TRB2016.pdf)
- Clercq, K. de, Dietrich, A., Núñez Velasco, J. P., Winter, J. de & Happee, R. (2019). External Human-Machine Interfaces on Automated Vehicles: Effects on Pedestrian Crossing Decisions. *Human factors*, 61(8), 1353–1370. <https://doi.org/10.1177/0018720819836343>
- Cœugnet, S., Cahour, B. & Kraiem, S. (2019). Risk-taking, emotions and socio-cognitive dynamics of pedestrian street-crossing decision-making in the city. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65, 141–157. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.07.011>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Aufl.). Erlbaum.
- Colley, M., Bajrovic, E. & Rukzio, E. (2022). Effects of Pedestrian Behavior, Time Pressure, and Repeated Exposure on Crossing Decisions in Front of Automated Vehicles Equipped with External Communication. In S. Barbosa (Hrsg.), *ACM Digital Library. CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 1–11). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3491102.3517571>
- Colley, M., Walch, M., Gugenheimer, J. & Rukzio, E. (2019). Including people with impairments from the start. In C. P. Janssen (Hrsg.), *ACM Digital Library. Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications: Adjunct Proceedings* (S. 307–314). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3349263.3351521>
- Coppola, R. & Morisio, M. (2016). Connected Car. *ACM Computing Surveys*, 49(3), 1–36. <https://doi.org/10.1145/2971482>
- Cotter, S. & Mogilka, A. (2007). *Methodologies for the assessment of ITS in terms of driver appropriation processes over time: HUMANIST Project Deliverable 6 of Task Force E (ETRL-070912-E1-A1)*. Transport Research Laboratory and Chemnitz University of Technology. Abgerufen am 7. Oktober 2022, von [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiNoMHL3c36AhU6RvEDHZGYCXsQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Ftrimis.ec.europa.eu%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fproject%2Fdocuments%2F20130201\\_090718\\_81352\\_E-6-HUMANIST\\_TRL\\_deliverable\\_VA1.pdf&usg=AOvVaw0H30Th-Smhd44f4ggWwC0t](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiNoMHL3c36AhU6RvEDHZGYCXsQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Ftrimis.ec.europa.eu%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fproject%2Fdocuments%2F20130201_090718_81352_E-6-HUMANIST_TRL_deliverable_VA1.pdf&usg=AOvVaw0H30Th-Smhd44f4ggWwC0t)
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>

- 
- Crowley-Koch, B. J., van Houten, R. & Lim, E. (2011). Effects of pedestrian prompts on motorist yielding at crosswalks. *Journal of applied behavior analysis*, 44(1), 121–126.  
<https://doi.org/10.1901/jaba.2011.44-121>
- Currano, R., Park, S. Y., Domingo, L., Garcia-Mancilla, J., Santana-Mancilla, P. C., Gonzalez, V. M. & Ju, W. (2018). ¡Vamos! Observations of Pedestrian Interactions with Driverless Cars in Mexico. In *ACM Conferences. Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 210–220). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3239060.3241680>
- Daamen, W. (2004). *Modelling Passenger Flow in Public Transport Facilities* [Dissertation]. Delft University of Technology, Civil Engineering and Geosciences, Delft, Niederlande. Abgerufen am 9. September 2022, von <http://resolver.tudelft.nl/uuid:e65fb66c-1e55-4e63-8c49-5199d40f60e1>
- Das, S [Sanghamitra], Manski, C. F. & Manuszak, M. D. (2005). Walk or wait? An empirical analysis of street crossing decisions. *Journal of Applied Econometrics*, 20(4), 529–548.  
<https://doi.org/10.1002/jae.791>
- Deb, S., Carruth, D. W., Fuad, M., Stanley, L. M. & Frey, D. (2020). Comparison of Child and Adult Pedestrian Perspectives of External Features on Autonomous Vehicles Using Virtual Reality Experiment. In N. A. Stanton (Hrsg.), *Advances in Human Factors of Transportation* (Bd. 964, S. 145–156). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20503-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20503-4_13)
- Deb, S., Strawderman, L., Carruth, D. W., DuBien, J., Smith, B. & Garrison, T. M. (2017). Development and validation of a questionnaire to assess pedestrian receptivity toward fully autonomous vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 84, 178–195.  
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.08.029>
- Deb, S., Strawderman, L., DuBien, J., Smith, B., Carruth, D. W. & Garrison, T. M. (2017). Evaluating pedestrian behavior at crosswalks: Validation of a pedestrian behavior questionnaire for the U.S. population. *Accident; analysis and prevention*, 106, 191–201.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.05.020>
- Demir, B., Özkan, T. & Demir, S. (2019). Pedestrian violations: Reasoned or social reactive? Comparing theory of planned behavior and prototype willingness model. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 560–572.  
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.11.012>
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2020a). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Interaktionsprinzipien* (DIN EN ISO 9241-110). Beuth Verlag GmbH. Abgerufen am 13. Dezember 2022, von <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-9241-110/320862700>

- 
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2020b). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme* (DIN EN ISO 9241-210). Beuth Verlag GmbH. Abgerufen am 13. Dezember 2022, von <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-9241-210/313017070>
- 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, Artikel 100174. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100174>
- Dey, D., Habibovic, A., Pfleging, B., Martens, M. & Terken, J. (2020). Color and Animation Preferences for a Light Band eHMI in Interactions Between Automated Vehicles and Pedestrians. In *CHI'20: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Honolulu, HI, USA* (S. 1–13). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376325>
- Dey, D., Holländer, K., Berger, M., Eggen, B., Martens, M., Pfleging, B. & Terken, J. (2020). Distance-Dependent eHMIs for the Interaction Between Automated Vehicles and Pedestrians. In *ACM Digital Library. 12th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 192–204). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3409120.3410642>
- Dey, D., Martens, M., Eggen, B. & Terken, J. (2019). Pedestrian road-crossing willingness as a function of vehicle automation, external appearance, and driving behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65, 191–205. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.07.027>
- Dey, D., Matviienko, A., Berger, M., Pfleging, B., Martens, M. & Terken, J. (2021). Communicating the intention of an automated vehicle to pedestrians: The contributions of eHMI and vehicle behavior. *it - Information Technology*, 63(2), 123–141. <https://doi.org/10.1515/itit-2020-0025>
- Dey, D. & Terken, J. (2017). Pedestrian Interaction with Vehicles. In I. Politis (Hrsg.), *ACM Digital Library. Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 109–113). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3122986.3123009>
- Dey, D., Walker, F., Martens, M. & Terken, J. (2019). Gaze Patterns in Pedestrian Interaction with Vehicles. In *Adjunct proceedings, 11th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Utrecht, Netherlands* (S. 369–378). The Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3342197.3344523>



- 
- Dietrich, A., Maruhn, P., Schwarze, L. & Bengler, K. (2020). Implicit Communication of Automated Vehicles in Urban Scenarios: Effects of Pitch and Deceleration on Pedestrian Crossing Behavior. In T. Ahram (Hrsg.), *Advances in Intelligent Systems and Computing Ser: v.1026. Human Systems Engineering and Design II: Proceedings of the 2nd International Conference on Human Systems Engineering and Design (IHSED2019): Future Trends and Applications, Munich, Germany* (Bd. 1026, S. 176–181). Springer International Publishing AG. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8_27)
- Dinh, D. D., Vu, N. H., McIlroy, R. C., Plant, K. A. & Stanton, N. A. (2020). Examining the roles of multidimensional fatalism on traffic safety attitudes and pedestrian behaviour. *Safety Science*, 124, Artikel 104587. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104587>
- Dinh, D. D., Vũ, N. H., McIlroy, R. C., Plant, K. A. & Stanton, N. A. (2020). Effect of attitudes towards traffic safety and risk perceptions on pedestrian behaviours in Vietnam. *IATSS Research*, 44(3), 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2020.01.002>
- Domeyer, J. E., Lee, J. D. & Toyoda, H. (2020). Vehicle Automation–Other Road User Communication and Coordination: Theory and Mechanisms. *IEEE Access*, 8, 19860–19872. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2969233>
- Dommes, A., Cavallo, V., Dubuisson, J.-B., Tournier, I. & Vienne, F. (2014). Crossing a two-way street: comparison of young and old pedestrians. *Journal of safety research*, 50, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.03.008>
- Dommes, A., Merlhiot, G., Lobjois, R., Dang, N.-T., Vienne, F., Boulo, J., Oliver, A.-H., Crétual, A. & Cavallo, V. (2021). Young and older adult pedestrians' behavior when crossing a street in front of conventional and self-driving cars. *Accident; analysis and prevention*, 159, Artikel 106256. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106256>
- Dong, F., Liao, L., Qin, M., Sajjad, J. & Stephan, T. (2019). *Development of a Measurement System to Determine the Gap Acceptance in Pedestrian-Vehicle-Interaction* [Advanced Design Project]. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Donges, E. (1982). Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *Automobil-Industrie*, 27(2), 183-190.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- Ecke, L., Chlond, B., Magdolen, M., Vallée, J. & Vortisch, P. (2021). *Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen Bericht 2020/2021: Alltagsmobilität und Fahrleistung*. <https://doi.org/10.5445/IR/1000140958>

- 
- Eisma, Y. B., van Bergen, S., Brake, S. M. ter, Hensen, M. T. T., Tempelaar, W. J. & Winter, J. de (2020). External Human–Machine Interfaces: The Effect of Display Location on Crossing Intentions and Eye Movements. *Information*, 11(1), 13. <https://doi.org/10.3390/info11010013>
- Elkin, L. A., Kay, M., Higgins, J. J. & Wobbrock, J. O. (2021). An Aligned Rank Transform Procedure for Multifactor Contrast Tests. In J. Nichols (Hrsg.), *ACM Digital Library. The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (S. 754–768). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3472749.3474784>
- Elliott, M. A. & Baughan, C. J. (2004). Developing a self-report method for investigating adolescent road user behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 7(6), 373–393. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2004.10.002>
- Elvik, R. (2004). To what extent can theory account for the findings of road safety evaluation studies? *Accident; analysis and prevention*, 36(5), 841–849. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2003.08.003>
- Elvik, R., Høye, A., Vaa, T. & Sørensen, M. (2009). *The Handbook of Road Safety Measures* (2., überarb. Aufl.). Emerald Group Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/9781848552517>
- Epke, M. R., Kooijman, L. & Winter, J. C. F. de (2021). I See Your Gesture: A VR-Based Study of Bidirectional Communication between Pedestrians and Automated Vehicles. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2021/5573560>
- Ezzati Amini, R., Katrakazas, C. & Antoniou, C. (2019). Negotiation and Decision-Making for a Pedestrian Roadway Crossing: A Literature Review. *Sustainability*, 11(23), Artikel 6713. <https://doi.org/10.3390/su11236713>
- 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), 788–813. <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1914771>
- Faas, S. M. & Baumann, M. (2021). Pedestrian assessment: Is displaying automated driving mode in self-driving vehicles as relevant as emitting an engine sound in electric vehicles? *Applied ergonomics*, 94, Artikel 103425. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103425>
- Faas, S. M., Kao, A. C. & Baumann, M. (2020). A Longitudinal Video Study on Communicating Status and Intent for Self-Driving Vehicle Pedestrian Interaction. In *CHI'20: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Honolulu, HI, USA* (S. 1–14). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376484>
- Faas, S. M., Kraus, J., Schoenhals, A. & Baumann, M. (2021). Calibrating Pedestrians' Trust in Automated Vehicles. In Y. Kitamura (Hrsg.), *ACM Digital Library. Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 1–17). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445738>

- 
- Faas, 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, 171–186. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.12.009>
- Faas, S. M., Mattes, S., Kao, A. C. & Baumann, M. (2020). Efficient Paradigm to Measure Street-Crossing Onset Time of Pedestrians in Video-Based Interactions with Vehicles. *Information*, 11(7), Artikel 360. <https://doi.org/10.3390/info11070360>
- Fagnant, D. J. & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 167–181. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003>
- Faisal, A., Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, M. & Currie, G. (2019). Understanding autonomous vehicles: A systematic literature review on capability, impact, planning and policy. *Journal of Transport and Land Use*, 12(1), 45–72. <https://doi.org/10.5198/jtlu.2019.1405>
- Färber, B. (2016). Communication and Communication Problems Between Autonomous Vehicles and Human Drivers. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomous Driving* (S. 125–144). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_7)
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G. & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Feldstein, I. T. & Dyszak, G. N. (2020). Road crossing decisions in real and virtual environments: A comparative study on simulator validity. *Accident; analysis and prevention*, 137, Artikel 105356. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.105356>
- Felzmann, H., Fosch-Villaronga, E., Lutz, C. & Tamo-Larrieux, A. (2019). Robots and Transparency: The Multiple Dimensions of Transparency in the Context of Robot Technologies. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 26(2), 71–78. <https://doi.org/10.1109/MRA.2019.2904644>
- Feys, M., Rombaut, E. & Vanhaverbeke, L. (2021). Does a Test Ride Influence Attitude towards Autonomous Vehicles? A Field Experiment with Pretest and Posttest Measurement. *Sustainability*, 13(10), Artikel 5387. <https://doi.org/10.3390/su13105387>
- Fischer, K., Weigelin, H. M. & Bodenhausen, L. (2018). Increasing trust in human–robot medical interactions: effects of transparency and adaptability. *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics*, 9(1), 95–109. <https://doi.org/10.1515/pjbr-2018-0007>
- Forke, J., Fröhlich, P., Suetterle, S., Gafert, M., Puthenkalam, J., Diamond, L., Zeilinger, M. & Tscheligi, M. (2021). Understanding the Headless Rider: Display-Based Awareness and Intent-Communication in Automated Vehicle-Pedestrian Interaction in Mixed Traffic. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(9), Artikel 51. <https://doi.org/10.3390/mti5090051>

- 
- Forster, Y., Hergeth, S., Naujoks, F., Beggiato, M., Krems, J. F. & Keinath, A. (2019). Learning and Development of Mental Models During Interactions with Driving Automation: A Simulator Study. In *Proceedings of the Tenth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (S. 398–404).
- Forster, Y., Kraus, J., Feinauer, S. & Baumann, M. (2018). Calibration of Trust Expectancies in Conditionally Automated Driving by Brand, Reliability Information and Introductory Videos. In *ACM Conferences. Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 118–128). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3239060.3239070>
- Fotios, S., Uttley, J., Cheal, C. & Hara, N. (2015). Using eye-tracking to identify pedestrians' critical visual tasks, Part 1. Dual task approach. *Lighting Research & Technology*, 47(2), 133–148. <https://doi.org/10.1177/1477153514522472>
- Frison, A.-K., Forster, Y., Wintersberger, P., Geisel, V. & Riener, A. (2020). Where We Come from and Where We Are Going: A Systematic Review of Human Factors Research in Driving Automation. *Applied Sciences*, 10(24), Artikel 8914. <https://doi.org/10.3390/app10248914>
- Fuest, T., Michalowski, L., Schmidt, E. & Bengler, K. (2019). Reproducibility of Driving Profiles – Application of the Wizard of Oz Method for Vehicle Pedestrian Interaction. In *The 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference - ITSC, Auckland, New Zealand* (S. 3954–3959). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2019.8917395>
- Fuest, T., Schmidt, E. & Bengler, K. (2020). Comparison of Methods to Evaluate the Influence of an Automated Vehicle's Driving Behavior on Pedestrians: Wizard of Oz, Virtual Reality, and Video. *Information*, 11(6), Artikel 291. <https://doi.org/10.3390/info11060291>
- Fugger, T. F., Randles, B. C., Stein, A. C., Whiting, W. C. & Gallagher, B. (2000). Analysis of Pedestrian Gait and Perception-Reaction at Signal-Controlled Crosswalk Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1705(1), 20–25. <https://doi.org/10.3141/1705-04>
- Fuller, R. (1984). A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance. *Ergonomics*, 27(11), 1139–1155. <https://doi.org/10.1080/00140138408963596>
- Gannon, B., Rosta, L., Reeve, M., Hyde, M. K. & Lewis, I. (2014). Does it matter whether friends, parents, or peers drink walk? Identifying which normative influences predict young pedestrian's decisions to walk while intoxicated. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 22, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2013.10.007>
- Gentner, D. & Gentner, D. R. (2014). Flowing Waters or Teeming Crowds: Mental Models of Electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens (Hrsg.), *Mental Models* (S. 99–129). Psychology Press.

- 
- Ghazizadeh, M., Lee, J. D. & Boyle, L. N. (2012). Extending the Technology Acceptance Model to assess automation. *Cognition, Technology & Work*, 14(1), 39–49.  
<https://doi.org/10.1007/s10111-011-0194-3>
- Gignac, G. E. & Szodorai, E. T. (2016). Effect size guidelines for individual differences researchers. *Personality and Individual Differences*, 102, 74-78. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2016.06.069>
- Granié, M.-A., Pannetier, M. & Guého, L. (2013). Developing a self-reporting method to measure pedestrian behaviors at all ages. *Accident; analysis and prevention*, 50, 830–839.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.07.009>
- Guéguen, N., Meineri, S. & Eyssartier, C. (2015). A pedestrian's stare and drivers' stopping behavior: A field experiment at the pedestrian crossing. *Safety Science*, 75, 87–89.  
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.018>
- Habibovic, A., Lundgren, V. M., Andersson, J., Klingegård, M., Lagström, T., Sirkka, A., Fagerlönn, J., Edgren, C., Fredriksson, R., Krupenia, S., Saluäär, D. & Larsson, P. (2018). Communicating Intent of Automated Vehicles to Pedestrians. *Frontiers in psychology*, 9, Artikel 1336.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01336>
- Hacker, W. & Sachse, P. (2014). *Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Tätigkeiten* (3., vollst. überarb. Aufl.). Hogrefe.
- Haines, Y. Y. (2009). On the complex definition of risk: a systems-based approach. *Risk Analysis*, 29(12), 1647–1654. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2009.01310.x>
- Hamilton-Baillie, B. (1978). Shared Space: Reconciling People, Places and Traffic. *Built Environment*, 34(2), 161–181.
- Hancock, P. A., Billings, D. R., Schaefer, K. E., Chen, J. Y. C., Visser, E. J. de & Parasuraman, R. (2011). A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction. *Human factors*, 53(5), 517–527. <https://doi.org/10.1177/0018720811417254>
- Hancock, P. A., Kajaks, T., Caird, J. K., Chignell, M. H., Mizobuchi, S., Burns, P. C., Feng, J., Fernie, G. R., Lavallière, M., Noy, I. Y., Redelmeier, D. A. & Vrkljan, B. H. (2020). Challenges to Human Drivers in Increasingly Automated Vehicles. *Human factors*, 62(2), 310–328.  
<https://doi.org/10.1177/0018720819900402>
- Hancock, P. A., Kessler, T. T., Kaplan, A. D., Brill, J. C. & Szalma, J. L. (2021). Evolving Trust in Robots: Specification Through Sequential and Comparative Meta-Analyses. *Human factors*, 63(7), 1196–1229. <https://doi.org/10.1177/0018720820922080>
- Hartwich, F., Witzlack, C., Beggiato, M. & Krems, J. F. (2019). The first impression counts – A combined driving simulator and test track study on the development of trust and acceptance of highly automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65, 522–535. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.05.012>

- 
- Hensch, A.-C., Kreißig, I., Beggiato, M. & Krems, J. F. (2022). The Effect of eHMI Malfunctions on Younger and Elderly Pedestrians' Trust and Acceptance of Automated Vehicle Communication Signals. *Frontiers in psychology*, 13, Artikel 866475. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.866475>
- Hensch, A.-C., Neumann, I., Beggiato, M., Halama, J. & Krems, J. F. (2020). Effects of a light-based communication approach as an external HMI for Automated Vehicles - a Wizard-of-Oz Study. *Transactions on Transport Sciences*, 10(2), 18–32. <https://doi.org/10.5507/tots.2019.012>
- Higgins, J. J., Blair, R. C. & Tashtoush, S. (1990). The Aligned Rank Transform Procedure. *Conference on Applied Statistics in Agriculture*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.4148/2475-7772.1443>
- Hilgarter, K. & Granig, P. (2020). Public perception of autonomous vehicles: A qualitative study based on interviews after riding an autonomous shuttle. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 72, 226–243. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.05.012>
- Himanen, V. & Kulmala, R. (1988). An application of logit models in analysing the behaviour of pedestrians and car drivers on pedestrian crossings. *Accident; analysis and prevention*, 20(3), 187–197. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(88\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0001-4575(88)90003-6)
- Hinz, A., Schumacher, J., Albani, C., Schmid, G. & Brähler, E. (2006). Bevölkerungsrepräsentative Normierung der Skala zur Allgemeinen Selbstwirksamkeitserwartung. *Diagnostica*, 52(1), 26–32. <https://doi.org/10.1026/0012-1924.52.1.26>
- Hoc, J.-M. (2001). Towards a cognitive approach to human–machine cooperation in dynamic situations. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54(4), 509–540. <https://doi.org/10.1006/ijhc.2000.0454>
- Hochman, M., Parmet, Y. & Oron-Gilad, T. (2020). Pedestrians' Understanding of a Fully Autonomous Vehicle's Intent to Stop: A Learning Effect Over Time. *Frontiers in psychology*, 11, Artikel 585280. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.585280>
- Hoff, K. A. & Bashir, M. (2015). Trust in automation: integrating empirical evidence on factors that influence trust. *Human factors*, 57(3), 407–434. <https://doi.org/10.1177/0018720814547570>
- Holland, C. & Hill, R. (2007). The effect of age, gender and driver status on pedestrians' intentions to cross the road in risky situations. *Accident; analysis and prevention*, 39(2), 224–237. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.07.003>
- Holländer, K., Wintersberger, P. & Butz, A. (2019). Overtrust in External Cues of Automated Vehicles. In *Adjunct proceedings, 11th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Utrecht, Netherlands* (S. 211–221). The Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3342197.3344528>

- 
- Hoogendoorn, S. P. (2001). *Normative Pedestrian Flow Behavior Theory and Applications* (LVV rapport VK 2001.002). Delft University of Technology, Civil Engineering and Geosciences. Abgerufen am 9. September 2022, von <http://resolver.tudelft.nl/uuid:f3802ff0-33a2-4013-8661-84de4e59c7dd>
- Hoogendoorn, S. P. & Bovy, P. (2004). Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(2), 169–190. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(03\)00007-9](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(03)00007-9)
- Hulse, L. M., Xie, H. & Galea, E. R. (2018). Perceptions of autonomous vehicles: Relationships with road users, risk, gender and age. *Safety Science*, 102, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.001>
- Imbsweiler, J., Ruesch, M., Weinreuter, H., Puente León, F. & Deml, B. (2018). Cooperation behaviour of road users in t-intersections during deadlock situations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 665–677. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.07.006>
- Imbsweiler, J., Stoll, T., Ruesch, M., Baumann, M. & Deml, B. (2018). Insight into cooperation processes for traffic scenarios: modelling with naturalistic decision making. *Cognition, Technology & Work*, 20(4), 621–635. <https://doi.org/10.1007/s10111-018-0518-7>
- Inbar, O. & Tractinsky, N. (2009). Feature - The incidental user. *Interactions*, 16(4), 56–59. <https://doi.org/10.1145/1551986.1551998>
- Ishaque, M. M. & Noland, R. B. (2008). Behavioural Issues in Pedestrian Speed Choice and Street Crossing Behaviour: A Review. *Transport Reviews*, 28(1), 61–85. <https://doi.org/10.1080/01441640701365239>
- Jayaraman, S. K., Creech, C., Robert Jr., L. P., Tilbury, D. M., Yang, X. J., Pradhan, A. K. & Tsui, K. M. (2018). Trust in AV: An Uncertainty Reduction Model of AV-Pedestrian Interactions. In *HRI'18 companion, Chicago, IL, USA* (S. 133–134). <https://doi.org/10.1145/3173386.3177073>
- Jian, J.-Y., Bisantz, A. M. & Drury, C. G. (2000). Foundations for an Empirically Determined Scale of Trust in Automated Systems. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 4(1), 53–71. [https://doi.org/10.1207/S15327566IJCE0401\\_04](https://doi.org/10.1207/S15327566IJCE0401_04)
- Jiang, C., Underwood, G. & Howarth, C. I. (1992). Towards a theoretical model for behavioural adaptations to changes in the road transport system. *Transport Reviews*, 12(3), 253–264. <https://doi.org/10.1080/01441649208716819>
- Johora, F. T. & Müller, J. P. (2020). Zone-Specific Interaction Modeling of Pedestrians and Cars in Shared Spaces. *Transportation Research Procedia*, 47, 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.096>
- Joisten, P., Alexandri, E., Drews, R., Klassen, L., Petersohn, P., Pick, A., Schwindt, S. & Abendroth, B. (2020). Displaying Vehicle Driving Mode – Effects on Pedestrian Behavior and Perceived

- 
- Safety. In T. Ahram, W. Karwowski, S. Pickl & R. Taiar (Hrsg.), *Human Systems Engineering and Design II* (Bd. 1026, S. 250–256). Springer International Publishing.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8_38)
- Joisten, P., Bier, L. & Abendroth, B. (2022). Validierung der deutschen Fassung der „Pedestrian Behavior Scale“: Ein Fragebogen zur Erfassung des Verhaltens von Fußgänger:innen bei der Straßenüberquerung. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 68(1), 13–21.
- Joisten, P., Freund, A. & Abendroth, B. (2020). Gestaltungsdimensionen der Kommunikation von automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 74(2), 132–145. <https://doi.org/10.1007/s41449-020-00199-7>
- Joisten, P., Liu, Z., Theobald, N., Webler, A. & Abendroth, B. (2021). Communication of Automated Vehicles and Pedestrian Groups: An Intercultural Study on Pedestrians' Street Crossing Decisions. In S. Schneegass (Hrsg.), *ACM Digital Library. Mensch und Computer 2021* (S. 49–53). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3473856.3474004>
- Joisten, P., Müller, A. L. & Abendroth, B. (2022). *Schlussbericht der Technischen Universität Darmstadt zum Forschungsprojekt @CITY-AF Automatisierte Fahrfunktionen und dem Teilprojekt „Mensch-Fahrzeug-Interaktion“*. Technische Universität Darmstadt.
- Joisten, P., Müller, A. L., Walter, J., Abendroth, B. & Bruder, R. (2019). Neue Ansätze der Human Factors Forschung im Zeitalter des hochautomatisierten Fahrens. In R. Bruder & H. Winner (Hrsg.), *Darmstädter Kolloquium „mensch + fahrzeug“*. *Hands off, Human Factors off? - Welche Rolle spielen Human Factors in der Fahrzeugautomation?*. 69-89
- Joisten, P., Niessen, P. & Abendroth, B. (2021). Pedestrians' Attitudes Towards Automated Vehicles: A Qualitative Study Based on Interviews in Germany. In N. L. Black, W. P. Neumann & I. Y. Noy (Hrsg.), *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)* (Bd. 221, S. 664–673). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7\\_81](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7_81)
- Joisten, P., Schwindt, S. S., Theobald, N. & Abendroth, B. (2022). Pedestrians' Mental Model Development after Initial Encounters with Automated Driving Systems. In A. Ebert, T. Lachmann, K. Dreßler, J. Lindblom & R. Reinhard (Hrsg.), *ECCE '22: Proceedings of the 33rd European Conference on Cognitive Ergonomics* (S. 1–4). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3552327.3552331>
- Joisten, P., Theobald, N. & Abendroth, B. (2022). Pedestrians' Crossing Decisions While Interacting with Automated Vehicles – Insights from a Longitudinal Study. In K. Plant & G. Praetorius (Hrsg.), *Human Factors in Transportation. AHFE (2022) International Conference*. AHFE Open Access. <https://doi.org/10.54941/ahfe1002445>



- 
- Joisten, P., Theobald, N., Schwindt, S., Walter, J. & Abendroth, B. (2020). Designing the Communication with Automated Vehicles: The Case of Elderly Pedestrians. In *Workshop on Inclusive Communication between Automated Vehicles and Vulnerable Road Users: In conjunction with MobileHCI 2020*. <https://wecare-workshop.github.io/assets/papers/JoistenEtAl.pdf>
- Joisten, P., Theobald, N., Webler, A. & Abendroth, B. (2022). Je mehr eHMI, desto besser? Querungsentscheidungen von Fußgänger:innen an Eimündungen mit Signalen von automatisierten Fahrzeugen. In S. Malejka, M. Barth, H. Haider & C. Stahl (Hrsg.), *TeaP 2022 - Abstracts of the 64th Conference of Experimental Psychologists* (S. 161–162). Pabst Science Publishers.
- Joisten, P., Vögler, M. & Abendroth, B. (2021). Gewöhnen wir uns an fahrerlose Pkw? Untersuchung der Intention zur Straßenüberquerung von Fußgänger/-innen im kontrollierten Feld. In A. Huckauf, M. Baumann, M. Ernst, C. Herbert, M. Kiefer & M. Sauter (Hrsg.), *TeaP 2021 - Abstracts of the 63rd Conference of Experimental Psychologists* (S. 119). Pabst Science Publishers.
- Jones, N. A., Ross, H., Lynam, T., Perez, P. & Leitch, A. (2011). Mental Models: An Interdisciplinary Synthesis of Theory and Methods. *Ecology and Society*, 16(1), Artikel 46. <https://doi.org/10.5751/es-03802-160146>
- Kaiser, F. G. (2017). Verhalten. In M. A. Wirtz & F. Dorsch (Hrsg.), *Dorsch - Lexikon der Psychologie* (18. Aufl., S. 1775). Hogrefe.
- Kaleefathullah, A. A., Merat, N., Lee, Y. M., Eisma, Y. B., Madigan, R., Garcia, J. & Winter, J. de (2022). External Human-Machine Interfaces Can Be Misleading: An Examination of Trust Development and Misuse in a CAVE-Based Pedestrian Simulation Environment. *Human factors*, 64(6), 1070–1085. <https://doi.org/10.1177/0018720820970751>
- Kaß, C., Schoch, S., Naujoks, F., Hergeth, S., Keinath, A. & Neukum, A. (2020). Standardized Test Procedure for External Human–Machine Interfaces of Automated Vehicles. *Information*, 11(3), Artikel 173. <https://doi.org/10.3390/info11030173>
- Kay, M., Elkin, L. A., Higgins, J. J. & Wobbrock, J. O. (2021). *mjskay/ARTool: ARTool 0.11.0 [Computer software]*. Zenodo.
- Kazi, T. A., Stanton, N. A., Walker, G. H. & Young, M. S. (2007). Designer driving: drivers' conceptual models and level of trust in adaptive cruise control. *International Journal of Vehicle Design*, 45(3), Artikel 14909, 339. <https://doi.org/10.1504/IJVD.2007.014909>
- Kelley, J. F. (1984). An iterative design methodology for user-friendly natural language office information applications. *ACM Transactions on Information Systems*, 2(1), 26–41. <https://doi.org/10.1145/357417.357420>
- Kerber, S. (2008). *Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugaußengeräuschen in Hintergrundgeräuschen: Psychoakustische Beurteilungen und modellbasierte Prognosen* [Dissertation]. Technische

---

Universität München, München. Abgerufen am 16. September 2022, von <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss-20080428-650182-1-0>

- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall.
- Kooijman, L., Happee, R. & Winter, J. de (2019). How Do eHMIs Affect Pedestrians' Crossing Behavior? A Study Using a Head-Mounted Display Combined with a Motion Suit. *Information*, 10(12), Artikel 386. <https://doi.org/10.3390/info10120386>
- Körber, M. (2019). Theoretical Considerations and Development of a Questionnaire to Measure Trust in Automation. In S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander & Y. Fujita (Hrsg.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Bd. 823, S. 13–30). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96074-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96074-6_2)
- Kovaleva, A., Beierlein, C., Kemper, C. J. & Rammstedt, B. (2014). *Internale-Externale-Kontrollüberzeugung-4 (IE-4)*. Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen (ZIS). <https://doi.org/10.6102/zis184>
- Krampell, M., Solís-Marcos, I. & Hjälmdahl, M. (2020). Driving automation state-of-mind: Using training to instigate rapid mental model development. *Applied ergonomics*, 83, Artikel 102986. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102986>
- Kulmala, R. & Rämä, P. (2013). Definition of Behavioural Adaptation. In C. M. Rudin-Brown & S. L. Jamson (Hrsg.), *Behavioural Adaptation and Road Safety: Theory, Evidence and Action* (S. 11–21). CRC Press.
- Kutela, B., Das, S [Subasish] & Dadashova, B. (2022). Mining patterns of autonomous vehicle crashes involving vulnerable road users to understand the associated factors. *Accident; analysis and prevention*, 165, Artikel 106473. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106473>
- Lance, C. E., Butts, M. M. & Michels, L. C. (2006). The Sources of Four Commonly Reported Cutoff Criteria. *Organizational Research Methods*, 9(2), 202–220. <https://doi.org/10.1177/1094428105284919>
- Langan-Fox, J., Code, S. & Langfield-Smith, K. (2000). Team mental models: techniques, methods, and analytic approaches. *Human factors*, 42(2), 242–271. <https://doi.org/10.1518/001872000779656534>
- Lee, J. D. & Kolodge, K. (2020). Exploring Trust in Self-Driving Vehicles Through Text Analysis. *Human factors*, 62(2), 260–277. <https://doi.org/10.1177/0018720819872672>
- Lee, J. D. & See, K. A. (2004). Trust in automation: designing for appropriate reliance. *Human factors*, 46(1), 50–80. [https://doi.org/10.1518/hfes.46.1.50\\_30392](https://doi.org/10.1518/hfes.46.1.50_30392)

- 
- Lee, J. D. & Seppelt, B. D. (2009). Human Factors in Automation Design. In S. Y. Nof (Hrsg.), *Springer Handbook of Automation* (S. 417–436). Springer Berlin Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-540-78831-7\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-540-78831-7_25)
- Lee, S. C., Nadri, C., Sanghavi, H. & Jeon, M. (2022). Eliciting User Needs and Design Requirements for User Experience in Fully Automated Vehicles. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 38(3), 227–239. <https://doi.org/10.1080/10447318.2021.1937875>
- Lee, Y. M., Madigan, R., Garcia, J., Tomlinson, A., Solernou, A., Romano, R., Markkula, G., Merat, N. & Uttley, J. (2019). Understanding the Messages Conveyed by Automated Vehicles. In *Adjunct proceedings, 11th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Utrecht, Netherlands* (S. 134–143). The Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3342197.3344546>
- 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(2), 367–380. <https://doi.org/10.1007/s10111-020-00635-y>
- Lee, Y. M., Madigan, R., Uzundu, C., Garcia, J., Romano, R., Markkula, G. & Merat, N. (2022). Learning to interpret novel eHMI: The effect of vehicle kinematics and eHMI familiarity on pedestrian' crossing behavior. *Journal of safety research*, 80, 270–280.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2021.12.010>
- Leeuw, J. R. de (2015). jsPsych: a JavaScript library for creating behavioral experiments in a Web browser. *Behavior research methods*, 47(1), 1–12. <https://doi.org/10.3758/s13428-014-0458-y>
- Leiner, D. J. (2019). *SoSci Survey* (Version 3.2.00) [Computer software]. <https://www.socisurvey.de>
- Lewis-Evans, B., Waard, D. de & Brookhuis, K. A. (2013). Contemporary Models of Behavioural Adaptation. In C. M. Rudin-Brown & S. L. Jamson (Hrsg.), *Behavioural Adaptation and Road Safety: Theory, Evidence and Action* (S. 35–59). CRC Press.
- Liu, H., Hirayama, T. & Watanabe, M. (2021). Importance of Instruction for Pedestrian-Automated Driving Vehicle Interaction with an External Human Machine Interface: Effects on Pedestrians' Situation Awareness, Trust, Perceived Risks and Decision Making. In *2021 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (S. 748–754). IEEE. <https://doi.org/10.1109/iv48863.2021.9575246>
- Liu, P. & Xu, Z. (2020). Public attitude toward self-driving vehicles on public roads: Direct experience changed ambivalent people to be more positive. *Technological Forecasting and Social Change*, 151, 119827. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119827>
- Liu, Q., Emmermann, B., Suen, O., Grant, B., Hercules, J., Glaser, E. & Lathrop, B. Rightward attentional bias in windshield displays: Implication towards external human machine interfaces

- 
- for self-driving cars. In *2017 IEEE Conference on Cognitive and Computational Aspects of Situation Management (CogSIMA)* (S. 1–7). <https://doi.org/10.1109/COGSIMA.2017.7929590>
- Liu, Y., Lyu, Y., Böttcher, K. & Rötting, M. (2020). External Interface-based Autonomous Vehicle-to-Pedestrian Communication in Urban Traffic: Communication Needs and Design Considerations. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 36(13), 1258–1272. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1736891>
- Lobjois, R. & Cavallo, V. (2007). Age-related differences in street-crossing decisions: the effects of vehicle speed and time constraints on gap selection in an estimation task. *Accident; analysis and prevention*, 39(5), 934–943. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.12.013>
- Löcken, A., Golling, C. & Riener, A. (2019). How Should Automated Vehicles Interact with Pedestrians? A Comparative Analysis of Interaction Concepts in Virtual Reality. In *Adjunct proceedings, 11th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Utrecht, Netherlands* (S. 262–274). The Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3342197.3344544>
- Loew, A., Graefe, J., Heil, L., Guthardt, A., Boos, A., Dietrich, A. & Bengler, K. (2022). Go Ahead, Please!—Evaluation of External Human—Machine Interfaces in a Real-World Crossing Scenario. *Frontiers in Computer Science*, 4, Artikel 863072. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2022.863072>
- Lyons, J. B. (2013). Being Transparent about Transparency: A Model for Human-Robot Interaction. In D. Sofge, G.-J. Kruijff & W. F. Lawless (Hrsg.), *Technical Report / Association for the Advancement of Artificial Intelligence SS: SS-13-07. Trust and autonomous systems: Papers from the AAAI spring symposium* (S. 48–53). AAAI Press.
- Lyons, J. B. & Havig, P. R. (2014). Transparency in a Human-Machine Context: Approaches for Fostering Shared Awareness/Intent. In D. Hutchison, T. Kanade, J. Kittler, J. M. Kleinberg, A. Kobsa, F. Mattern, J. C. Mitchell, M. Naor, O. Nierstrasz, C. Pandu Rangan, B. Steffen, D. Terzopoulos, D. Tygar, G. Weikum, R. Shumaker & S. Lackey (Hrsg.), *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Designing and Developing Virtual and Augmented Environments* (Bd. 8525, S. 181–190). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-07458-0\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07458-0_18)
- Madden, A. D. (2000). A definition of information. *Aslib Proceedings*, 52(9), 343–349. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000007027>
- Madigan, R., Nordhoff, S., Fox, C., Ezzati Amini, R., Louw, T., Wilbrink, M., Schieben, A. & Merat, N. (2019). Understanding interactions between Automated Road Transport Systems and other road users: A video analysis. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 66, 196–213. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.09.006>

- 
- Mahadevan, K., Somanath, S. & Sharlin, E. (2018). Communicating Awareness and Intent in Autonomous Vehicle-Pedestrian Interaction. In *CHI 2018: Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Montreal, QC, Canada* (S. 1–12). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3173574.3174003>
- Manchon, J. B., Bueno, M. & Navarro, J. (2021). From manual to automated driving: how does trust evolve? *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 22(5), 528–554. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2020.1830450>
- Manser, M. P., Creaser, J. & Boyle, L. N. (2013). Behavioural Adaptation: Methodological and Measurement Issues. In C. M. Rudin-Brown & S. L. Jamson (Hrsg.), *Behavioural Adaptation and Road Safety: Theory, Evidence and Action* (S. 339–358). CRC Press.
- Markkula, G., Madigan, R., Nathanael, D., Portouli, E., Lee, Y. M., Dietrich, A., Billington, J., Schieben, A. & Merat, N. (2020). Defining interactions: a conceptual framework for understanding interactive behaviour in human and automated road traffic. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 21(6), 728–752. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2020.1736686>
- Marsh, S. & Dibben, M. R. (2003). The role of trust in information science and technology. *Annual Review of Information Science and Technology*, 37(1), 465–498. <https://doi.org/10.1002/aris.1440370111>
- Marshall, B., Cardon, P., Poddar, A. & Fontenot, R. (2013). Does Sample Size Matter in Qualitative Research? A Review of Qualitative Interviews in is Research. *Journal of Computer Information Systems*, 54(1), 11–22. <https://doi.org/10.1080/08874417.2013.11645667>
- Martens, M. H. & Jenssen, G. D. (2012). Behavioral Adaptation and Acceptance. In A. Eskandarian (Hrsg.), *Springer reference. Handbook of intelligent vehicles* (S. 117–138). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-0-85729-085-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-0-85729-085-4_6)
- Mayring, P. (2014). *Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution*. Abgerufen am 11. Oktober 2022, von <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173>
- McDonald, N., Schoenebeck, S. & Forte, A. (2019). Reliability and Inter-rater Reliability in Qualitative Research. In A. Lampinen, D. Gergle & D. A. Shamma (Hrsg.), *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* (Bd. 3, S. 1–23). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3359174>
- Merat, N., Louw, T., Madigan, R., Wilbrink, M. & Schieben, A. (2018). What externally presented information do VRUs require when interacting with fully Automated Road Transport Systems in shared space? *Accident; analysis and prevention*, 118, 244–252. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.018>

- 
- Merten, K. (1977a). *Kommunikation: Eine Begriffs- und Prozeßanalyse*. Zugl.: Bielefeld, Univ., Diss., 1976. *Studien zur Sozialwissenschaft: Bd. 35*. Westdt. Verl.
- Merten, K. (1977b). Kommunikationsprozesse im Straßenverkehr. In Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), *Referate, Ergebnisse und Folgerungen des Symposiums "Unfallforschung und Verkehrssicherheit" der Bundesanstalt für Straßenwesen* (Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr Symposium 77, S. 115–126). Köln.
- Merton, R. K., Lowenthal, M. F. & Kendall, P. L. (1990). *The focused interview: A manual of problems and procedures. A report of the Bureau of Applied Social Research, Columbia University*. Free Press Macmillan Publishers.
- Metz, B., Wörle, J., Hanig, M., Schmitt, M. & Lutz, A. (2020). Repeated Usage of an L3 Motorway Chauffeur: Change of Evaluation and Usage. *Information, 11*(2), Artikel 114.  
<https://doi.org/10.3390/info11020114>
- Michon, J. A. (1985). A Critical View of Driver Behavior Models: What Do We Know, What Should We Do? In L. Evans & R. C. Schwing (Hrsg.), *Human Behavior and Traffic Safety* (S. 485–524). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2173-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2173-6_19)
- Millard-Ball, A. (2018). Pedestrians, Autonomous Vehicles, and Cities. *Journal of Planning Education and Research, 38*(1), 6–12. <https://doi.org/10.1177/0739456X16675674>
- Miller, L., Leitner, J., Kraus, J. & Baumann, M. (2022). Implicit intention communication as a design opportunity for automated vehicles: Understanding drivers' interpretation of vehicle trajectory at narrow passages. *Accident; analysis and prevention, 173*, Artikel 106691.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106691>
- Mok, C. S., Bazilinskyy, P. & Winter, J. de (2022). Stopping by looking: A driver-pedestrian interaction study in a coupled simulator using head-mounted displays with eye-tracking. *Applied ergonomics, 105*, Artikel 103825. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103825>
- Monzel, M., Keidel, K., Schubert, W. & Banse, R. (2021). A field study investigating road safety effects of a front brake light. *IET Intelligent Transport Systems, 15*(8), 1043–1052.  
<https://doi.org/10.1049/itr2.12080>
- Moray, N., Inagaki, T. & Itoh, M. (2000). Adaptive automation, trust, and self-confidence in fault management of time-critical tasks. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 6*(1), 44–58.  
<https://doi.org/10.1037/1076-898X.6.1.44>
- Muir, B. M. (1994). Trust in automation: Part I. Theoretical issues in the study of trust and human intervention in automated systems. *Ergonomics, 37*(11), 1905–1922.  
<https://doi.org/10.1080/00140139408964957>

- 
- Muslim, H. & Itoh, M. (2021). Long-Term Evaluation of Drivers' Behavioral Adaptation to an Adaptive Collision Avoidance System. *Human factors*, 63(7), 1295–1315.  
<https://doi.org/10.1177/0018720820926092>
- Näätänen, R. & Summala, H. (1974). A model for the role of motivational factors in drivers' decision-making\*. *Accident; analysis and prevention*, 6(3-4), 243–261. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(74\)90003-7](https://doi.org/10.1016/0001-4575(74)90003-7)
- Naujoks, F., Wiedemann, K., Schömig, N., Hergeth, S. & Keinath, A. (2019). Towards guidelines and verification methods for automated vehicle HMIs. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 121–136. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.10.012>
- Nees, M. A. (2016). Acceptance of Self-driving Cars. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 60(1), 1449–1453. <https://doi.org/10.1177/1541931213601332>
- Newell, A. & Rosenbloom, P. S. (1981). Mechanisms of Skill acquisition and the law of practice. In J. R. Anderson (Hrsg.), *Cognitive Skills and their Aquisition* (S. 1–55). Erlbaum.
- Nobis, C. & Kuhnimhof, T. (2018). *Mobilität in Deutschland - MiD Ergebnisbericht: Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15)*. Bonn, Berlin. [www.mobilitaet-in-deutschland.de](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de)
- Nordhoff, S., Winter, J. de, Payre, W., van Arem, B. & Happee, R. (2019). What impressions do users have after a ride in an automated shuttle? An interview study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 63, 252–269. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.04.009>
- Norman, D. A. (1990). The 'problem' with automation: inappropriate feedback and interaction, not 'over-automation'. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 327(1241), 585–593. <https://doi.org/10.1098/rstb.1990.0101>
- Norman, D. A. (2014). Some Observations on Mental Models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Hrsg.), *Mental Models* (S. 7–14). Psychology Press.
- Nuñez Velasco, J. P., Farah, H., van Arem, B. & Hagenzieker, M. P. (2019). Studying pedestrians' crossing behavior when interacting with automated vehicles using virtual reality. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 66, 1–14.  
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.08.015>
- OECD. (1990). *Behavioural adaptations to changes in the road transport system: Report. Road transport research*. OECD.
- Onkhar, V., Bazilinsky, P., Dodou, D. & Winter, J. de (2022). The effect of drivers' eye contact on pedestrians' perceived safety. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 84, 194–210. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.10.017>
- Ososky, S., Sanders, T., Jentsch, F., Hancock, P. & Chen, J. Y. C. (2014). Determinants of system transparency and its influence on trust in and reliance on unmanned robotic systems. In R. E.

- 
- Karlsen, D. W. Gage, C. M. Shoemaker & Gerhart, Grant, R. (Hrsg.), *Proceedings of SPIE: Bd. 9084. Unmanned systems technology XVI, Maryland, United States* (1-12). SPIE.  
<https://doi.org/10.1117/12.2050622>
- Oxley, J. A., Ihsen, E., Fildes, B. N., Charlton, J. L. & Day, R. H. (2005). Crossing roads safely: an experimental study of age differences in gap selection by pedestrians. *Accident; analysis and prevention*, 37(5), 962–971. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.04.017>
- Papadimitriou, E., Yannis, G. & Golias, J. (2009). A critical assessment of pedestrian behaviour models. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(3), 242–255.  
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2008.12.004>
- Parasuraman, R. & Riley, V. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. *Human factors*, 39(2), 230–253. <https://doi.org/10.1518/001872097778543886>
- Parkin, J., Clark, B., Clayton, W., Ricci, M. & Parkhurst, G. (2018). Autonomous vehicle interactions in the urban street environment: a research agenda. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer*, 171(1), 15–25. <https://doi.org/10.1680/jmuen.16.00062>
- Penmetsa, P., Adanu, E. K., Wood, D., Wang, T. & Jones, S. L. (2019). Perceptions and expectations of autonomous vehicles – A snapshot of vulnerable road user opinion. *Technological Forecasting and Social Change*, 143, 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.02.010>
- Pettigrew, S., Booth, L., Farrar, V., Godic, B., Brown, J., Karl, C. & Thompson, J. (2022). Walking in the Era of Autonomous Vehicles. *Sustainability*, 14(17), Artikel 10509.  
<https://doi.org/10.3390/su141710509>
- Petzoldt, T. (2014). On the relationship between pedestrian gap acceptance and time to arrival estimates. *Accident; analysis and prevention*, 72, 127–133.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.06.019>
- Pöhler, G., Heine, T. & Deml, B. (2016). Itemanalyse und Faktorstruktur eines Fragebogens zur Messung von Vertrauen im Umgang mit automatischen Systemen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 70(3), 151–160. <https://doi.org/10.1007/s41449-016-0024-9>
- Pokam, R., Debernard, S., Chauvin, C. & Langlois, S. (2019). Principles of transparency for autonomous vehicles: first results of an experiment with an augmented reality human–machine interface. *Cognition, Technology & Work*, 21(4), 643–656. <https://doi.org/10.1007/s10111-019-00552-9>
- Portouli, E., Nathanael, D., Amditis, A., Lee, Y. M., Merat, N., Uttley, J., Giles, O., Markkula, G., Dietrich, A., Schieben, A. & Jenness, J. (2019). Methodologies to Understand the Road User Needs When Interacting with Automated Vehicles. In H. Krömker (Hrsg.), *HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems* (Bd. 11596, S. 35–45). Springer International Publishing.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-22666-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22666-4_3)



- 
- Poulton, E. C. (1973). Unwanted range effects from using within-subject experimental designs. *Psychological Bulletin*, 80(2), 113–121. <https://doi.org/10.1037/h0034731>
- Przyborski, A. & Wohlrab-Sahr, M. (2021). *Qualitative Sozialforschung*. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110710663>
- Puca, R. M. (2017). Intention. In M. A. Wirtz & F. Dorsch (Hrsg.), *Dorsch - Lexikon der Psychologie* (18. Aufl., S. 814–815). Hogrefe.
- Pyrialakou, V. D., Gkartzonikas, C., Gatlin, J. D. & Gkritza, K. (2020). Perceptions of safety on a shared road: Driving, cycling, or walking near an autonomous vehicle. *Journal of safety research*, 72, 249–258. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.12.017>
- R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* (Version 4.2.2) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. Wien. <https://www.R-project.org/>
- Radlmayr, J., Gold, C., Lorenz, L., Farid, M. & Bengler, K. (2014). How Traffic Situations and Non-Driving Related Tasks Affect the Take-Over Quality in Highly Automated Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 2063–2067. <https://doi.org/10.1177/1541931214581434>
- Rahman, M. T., Dey, K., Das, S [Subasish] & Sherfinski, M. (2021). Sharing the road with autonomous vehicles: A qualitative analysis of the perceptions of pedestrians and bicyclists. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 78, 433–445. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.03.008>
- Rasouli, A. & Tsotsos, J. K. (2020). Autonomous Vehicles That Interact With Pedestrians: A Survey of Theory and Practice. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(3), 900–918. <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2901817>
- Razmi Rad, S., Homem de Almeida Correia, G. & Hagenzieker, M. (2020). Pedestrians' road crossing behaviour in front of automated vehicles: Results from a pedestrian simulation experiment using agent-based modelling. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 69, 101–119. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.01.014>
- Reason, J., Manstead, A., Stradling, S., Baxter, J. & Campbell, K. (1990). Errors and violations on the roads: a real distinction? *Ergonomics*, 33(10-11), 1315–1332. <https://doi.org/10.1080/00140139008925335>
- Reig, S., Norman, S., Morales, C. G., Das, S [Samadrita], Steinfeld, A. & Forlizzi, J. (2018). A Field Study of Pedestrians and Autonomous Vehicles. In *ACM Conferences. Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 198–209). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3239060.3239064>

- 
- Reschke, J., Auburger, M.-T., Marichalar, R. & Neumann, C. (2019). Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und Fußgängern. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 121(9), 16–23. <https://doi.org/10.1007/s35148-019-0096-x>
- Rettenmaier, M. & Bengler, K. (2021). The Matter of How and When: Comparing Explicit and Implicit Communication Strategies of Automated Vehicles in Bottleneck Scenarios. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2, 282–293. <https://doi.org/10.1109/OJITS.2021.3107678>
- Richardson, N. T., Sprung, A. & Michel, B. (2019). Entwicklung und Validierung eines Fragebogens zur Erfassung des mentalen Modells für das hochautomatisierte Fahren. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 73(3), 312–323. <https://doi.org/10.1007/s41449-019-00157-y>
- Risser, R. (1985). Behavior in traffic conflict situations. *Accident; analysis and prevention*, 17(2), 179–197. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(85\)90020-X](https://doi.org/10.1016/0001-4575(85)90020-X)
- Risser, R., Zuzan, W. D., Tamme, W., Stainbauer, J. & Kaba, A. (1991). *Handbuch zur Erhebung von Verkehrskonflikten mit Anleitungen zur Beobachterschulung* (1. Aufl.). *Lebensraum Verkehr: Bd. 28*. Literas-Univ.-Verl.
- 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 *Driving Assessment 2017: Proceedings of the 9th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*.
- Rock. (2017). Lernen, inkrementelles. In M. A. Wirtz & F. Dorsch (Hrsg.), *Dorsch - Lexikon der Psychologie* (18. Aufl., S. 1007). Hogrefe.
- Rodríguez Palmeiro, A., van der Kint, S., Vissers, L., Farah, H., Winter, J. de & Hagenzieker, M. (2018). Interaction between pedestrians and automated vehicles: A Wizard of Oz experiment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 1005–1020. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.07.020>
- Rohmert, W. (1983). Formen menschlicher Arbeit. In W. Rohmert & J. Rutenfranz (Hrsg.), *Praktische Arbeitsphysiologie* (3. Aufl., S. 5–29). Georg Thieme Verlag.
- Rosén, E. & Sander, U. (2009). Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. *Accident; analysis and prevention*, 41(3), 536–542. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.02.002>
- Rosenbloom, T. (2006). Sensation Seeking and Pedestrian Crossing Compliance. *Social Behavior and Personality: an international journal*, 34(2), 113–122. <https://doi.org/10.2224/sbp.2006.34.2.113>
- Roth, M. & Mayerhofer, D. (2003). *Deutsche Version des Arnett Inventory of Sensation Seeking (AISS-d)*. Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen (ZIS). <https://doi.org/10.6102/zis73>

- 
- Rothenbucher, D., Li, J., Sirkin, D., Mok, B. & Ju, W. (2016). Ghost driver: A field study investigating the interaction between pedestrians and driverless vehicles. In *The 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, New York, USA* (S. 795–802). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2016.7745210>
- Rothengatter, T. (1988). Risk and the absence of pleasure: a motivational approach to modelling road user behaviour. *Ergonomics*, 31(4), 599–607. <https://doi.org/10.1080/00140138808966702>
- Rouchitsas, A. & Alm, H. (2019). External Human-Machine Interfaces for Autonomous Vehicle-to-Pedestrian Communication: A Review of Empirical Work. *Frontiers in psychology*, 10, Artikel 2757. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02757>
- Rudin-Brown, C. M. (2010). 'Intelligent' in-vehicle intelligent transport systems: limiting behavioural adaptation through adaptive design. *IET Intelligent Transport Systems*, 4(4), 252. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2009.0151>
- Rudin-Brown, C. M. & Noy, I. Y. (2002). Investigation of Behavioral Adaptation to Lane Departure Warnings. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1803(1), 30–37. <https://doi.org/10.3141/1803-05>
- Rudin-Brown, C. M. & Parker, H. A. (2004). Behavioural adaptation to adaptive cruise control (ACC): implications for preventive strategies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 7(2), 59–76. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2004.02.001>
- SAE International. (2016). *Human Factors Definitions for Automated Driving and Related Research Topics*. 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States. [https://doi.org/10.4271/J3114\\_201612](https://doi.org/10.4271/J3114_201612)
- SAE International. (2019). *Automated Driving System (ADS) Marker Lamp*. 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States. [https://doi.org/10.4271/J3134\\_201905](https://doi.org/10.4271/J3134_201905)
- SAE International. (2021). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*. 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States. [https://doi.org/10.4271/J3016\\_202104](https://doi.org/10.4271/J3016_202104)
- Saßmannshausen, T., Burggräf, P., Hassenzahl, M. & Wagner, J. (2022). Human trust in otherware - a systematic literature review bringing all antecedents together. *Ergonomics*, 1–23. <https://doi.org/10.1080/00140139.2022.2120634>
- Schaefer, K. E., Chen, J. Y. C., Szalma, J. L. & Hancock, P. A. (2016). A Meta-Analysis of Factors Influencing the Development of Trust in Automation: Implications for Understanding Autonomy in Future Systems. *Human factors*, 58(3), 377–400. <https://doi.org/10.1177/0018720816634228>
- 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), 69–85.  
<https://doi.org/10.1007/s10111-018-0521-z>
- Schlag, B. (2006). Risikoverhalten im Straßenverkehr. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden*, 55(3-4), 35–40. urn:nbn:de:swb:14-1172667790025-29837
- Schlick, C., Bruder, R. & Luczak, H. (2018). *Arbeitswissenschaft* (4. Aufl.). Springer Vieweg.
- Schmidt, A. (2000). Implicit human computer interaction through context. *Personal Technologies*, 4(2-3), 191–199. <https://doi.org/10.1007/BF01324126>
- Schmidt, S. & Färber, B. (2009). Pedestrians at the kerb – Recognising the action intentions of humans. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(4), 300–310.  
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2009.02.003>
- Schneemann, F. & Gohl, I. (2016). Analyzing driver-pedestrian interaction at crosswalks: A contribution to autonomous driving in urban environments. In *2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (S. 38–43). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IVS.2016.7535361>
- Seong, Y. & Bisantz, A. M. (2008). The impact of cognitive feedback on judgment performance and trust with decision aids. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(7-8), 608–625.  
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2008.01.007>
- Seppelt, B. & Victor, T. (2020). Driver’s Mental Model of Vehicle Automation. In D. L. Fisher, W. J. Horrey, J. D. Lee & M. A. Regan (Hrsg.), *Handbook of human factors for automated, connected, and intelligent vehicles* (S. 55–66). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b21974-3>
- Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3-4), 591–611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Shladover, S. E. (2018). Connected and automated vehicle systems: Introduction and overview. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 22(3), 190–200.  
<https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1336053>
- Shor, R. E. (1964). Shared Patterns of Nonverbal Normative Expectations in Automobile Driving. *The Journal of social psychology*, 62, 155–163. <https://doi.org/10.1080/00224545.1964.9919512>
- SHP Ingenieure (Hrsg.). (2016). *Bad Rothenfelde: Begegnungszone Frankfurter Straße*. Abgerufen am 7. Dezember 2022, von [https://netzwerk-sharedspace.de/wp-content/uploads/2018/06/1502\\_Bad-Rothenfelde\\_Begegnungszone-Frankfurter-Str.pdf](https://netzwerk-sharedspace.de/wp-content/uploads/2018/06/1502_Bad-Rothenfelde_Begegnungszone-Frankfurter-Str.pdf)
- Simpson, J., Freeth, M., Simpson, K. J. & Thwaites, K. (2019). Visual engagement with urban street edges: insights using mobile eye-tracking. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 12(3), 259–278.  
<https://doi.org/10.1080/17549175.2018.1552884>
- Singer, T., Kobbert, J., Zandi, B. & Khanh, T. Q. (2022). Displaying the Driving State of Automated Vehicles to Other Road Users: An International, Virtual Reality-Based Study as a First Step for

- 
- the Harmonized Regulations of Novel Signaling Devices. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(4), 2904–2918. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3032777>
- Six, B. (2017). Normen, soziale. In M. A. Wirtz & F. Dorsch (Hrsg.), *Dorsch - Lexikon der Psychologie* (18. Aufl., S. 1190). Hogrefe.
- Skraaning, G. & Jamieson, G. A. (2021). Human Performance Benefits of The Automation Transparency Design Principle : Validation and Variation. *Human factors*, 63(3), 379–401. <https://doi.org/10.1177/0018720819887252>
- Soares, F., Silva, E., Pereira, F., Silva, C., Sousa, E. & Freitas, E. (2020). The Influence of Noise Emitted by Vehicles on Pedestrian Crossing Decision-Making: A Study in a Virtual Environment. *Applied Sciences*, 10(8), 2913. <https://doi.org/10.3390/app10082913>
- Soares, F., Silva, E., Pereira, F., Silva, C., Sousa, E. & Freitas, E. (2021). To cross or not to cross: Impact of visual and auditory cues on pedestrians' crossing decision-making. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 82, 202–220. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.08.014>
- Soni, S., Reddy, N., Tsapi, A., van Arem, B. & Farah, H. (2022). Behavioral adaptations of human drivers interacting with automated vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 86, 48–64. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.02.002>
- Sripada, A., Bazilinsky, P. & Winter, J. de (2021). Automated vehicles that communicate implicitly: examining the use of lateral position within the lane. *Ergonomics*, 64(11), 1416–1428. <https://doi.org/10.1080/00140139.2021.1925353>
- Stafford, J., Rodger, M., Gómez-Jordana, L. I., Whyatt, C. & Craig, C. M. (2022). Developmental differences across the lifespan in the use of perceptual information to guide action-based decisions. *Psychological research*, 86(1), 268–283. <https://doi.org/10.1007/s00426-021-01476-8>
- Stanciu, S. C., Eby, D. W., Molnar, L. J., St. Louis, R. M., Zanier, N. & Kostyniuk, L. P. (2018). Pedestrians/Bicyclists and Autonomous Vehicles: How Will They Communicate? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672(22), 58–66. <https://doi.org/10.1177/0361198118777091>
- Stange, V., Steimle, M., Maurer, M. & Vollrath, M. (2022). Is the automated vehicle “aware” of the pedestrian? Examining driving behavior adaptation as a cue to inform the passenger of a potential hazard. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 16, Artikel 100701. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100701>
- Stanton, N. A. & Young, M. S. (1998). Vehicle automation and driving performance. *Ergonomics*, 41(7), 1014–1028. <https://doi.org/10.1080/001401398186568>

- 
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2022). *Verkehrsunfälle: Zeitreihen 2021*. Abgerufen am 5. August 2022, von [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/verkehrsunfaelle-zeitreihen-pdf-5462403.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/verkehrsunfaelle-zeitreihen-pdf-5462403.pdf?__blob=publicationFile)
- Subramanian, L. D., O'Neal, E. E., Roman, A., Sherony, R., Plumert, J. M. & Kearney, J. K. (2021). How do pedestrians respond to adaptive headlamp systems in vehicles? A road-crossing study in an immersive virtual environment. *Accident; analysis and prevention*, 160, Artikel 106298. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106298>
- Sucha, M., Dostal, D. & Risser, R. (2017). Pedestrian-driver communication and decision strategies at marked crossings. *Accident; analysis and prevention*, 102, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.018>
- Sullivan, J. M., Flannagan, M. J., Pradhan, A. K. & Bao, S. (2016). *Literature Review of Behavioral Adaptations to Advanced Driver Assistance Systems*. Washington, D.C. AAA Foundation for Traffic Safety. Abgerufen am 7. Oktober 2022, von <https://aaafoundation.org/literature-review-of-behavioral-adaptations-to-advanced-driver-assistance-systems/>
- Tabone, W., Winter, J. de, Ackermann, C., Bärghman, J., Baumann, M., Deb, S., Emmenegger, C., Habibovic, A., Hagenzieker, M., Hancock, P. A., Happee, R., Krems, J., 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, Artikel 100293. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100293>
- Tapiro, H., Wyman, A., Borowsky, A., Petzoldt, T., Wang, X. & Hurwitz, D. S. (2022). Automated Vehicle Failure: The First Pedestrian Fatality and Public Perception. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2676(8), 198–208. <https://doi.org/10.1177/03611981221083297>
- Taylor, D. H. (1964). Drivers' Galvanic Skin Response and the Risk of Accident. *Ergonomics*, 7(4), 439–451. <https://doi.org/10.1080/00140136408930761>
- Theobald, N., Joisten, P. & Abendroth, B. (2022). Measuring Pedestrians' Gap Acceptance When Interacting with Vehicles - A Human Gait Oriented Approach. In C. Stephanidis, M. Antona & S. Ntoa (Hrsg.), *Springer eBook Collection: Bd. 1583. HCI International 2022 Posters: 24th International Conference on Human-Computer Interaction, HCII 2022* (1. Aufl., Bd. 1583, S. 251–258). Springer International Publishing; Imprint Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-06394-7\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-031-06394-7_33)
- Theofilatos, A., Ziakopoulos, A., Oviedo-Trespalacios, O. & Timmis, A. (2021). To cross or not to cross? Review and meta-analysis of pedestrian gap acceptance decisions at midblock street crossings. *Journal of Transport & Health*, 22, Artikel 101108. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101108>

- 
- Tian, K., Markkula, G., Wei, C., Lee, Y. M., Madigan, R., Merat, N. & Romano, R. (2022). Explaining unsafe pedestrian road crossing behaviours using a Psychophysics-based gap acceptance model. *Safety Science*, 154, Artikel 105837. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105837>
- Tinga, A. M., Zwart, R. de, Jansen, R. J. & Goede, M. de. (2021). Automatic for the People - How Prior Encounters Shape Prospected Interactions With Automated Shuttles. In *2021 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (S. 1485–1492). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IV48863.2021.9575959>
- Tom, A. & Granié, M.-A. (2011). Gender differences in pedestrian rule compliance and visual search at signalized and unsignalized crossroads. *Accident; analysis and prevention*, 43(5), 1794–1801. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.04.012>
- Trimpop, R. M. (1996). Risk homeostasis theory: Problems of the past and promises for the future. *Safety Science*, 22(1-3), 119–130. [https://doi.org/10.1016/0925-7535\(96\)00010-0](https://doi.org/10.1016/0925-7535(96)00010-0)
- Vaa, T. (2013). Psychology of Behavioural Adaptation. In C. M. Rudin-Brown & S. L. Jamson (Hrsg.), *Behavioural Adaptation and Road Safety: Theory, Evidence and Action* (S. 207–226). CRC Press.
- van der Horst, A. R. A. (2013). Behavioural Adaptation to Roadway Engineering Countermeasures. In C. M. Rudin-Brown & S. L. Jamson (Hrsg.), *Behavioural Adaptation and Road Safety: Theory, Evidence and Action* (S. 113–134). CRC Press.
- van der Molen, H. H. & Bötticher, A. M. T. (1988). A hierarchical risk model for traffic participants. *Ergonomics*, 31(4), 537–555. <https://doi.org/10.1080/00140138808966698>
- Vandroux, R., Granié, M.-A., Jay, M., Sueur, C. & Pelé, M. (2022). The pedestrian behaviour scale: A systematic review of its validation around the world. *Accident; analysis and prevention*, 165, Artikel 106509. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106509>
- VERBI Software. (2021). *MAXQDA 2020 [Computer software]*. Berlin. <https://www.maxqda.com>
- Verein Deutscher Ingenieure (2018). *Agentensysteme in der Automatisierungstechnik: Grundlagen* (VDI/VDE-Richtlinien 2653 Blatt 1). Beuth Verlag GmbH.
- Walker, F., Dey, D., Martens, M., Pfleging, B., Eggen, B. & Terken, J. (2019). Feeling-of-Safety Slider. In *CHI EA '19: Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Glasgow, Scotland, UK* (S. 1–6). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3290607.3312880>
- Wang, Y., Hespanhol, L., Worrall, S. & Tomitsch, M. (2022). Pedestrian-Vehicle Interaction in Shared Space: Insights for Autonomous Vehicles. In Y. G. Ji (Hrsg.), *ACM Digital Library. Proceedings of the 14th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 330–339). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3543174.3546838>

- 
- Weber, F., Chadowitz, R., Schmidt, K., Messerschmidt, J. & Fuest, T. (2019). Crossing the Street Across the Globe: A Study on the Effects of eHMI on Pedestrians in the US, Germany and China. In H. Krömker (Hrsg.), *HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems* (Bd. 11596, S. 515–530). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22666-4\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22666-4_37)
- Wege, C., Pereira, M. S., Victor, T. & Krems, J. F. (2014). Behavioural adaptation in response to driving assistance technologies: A literature review. In A. Stevens, J. F. Krems & C. Brusque (Hrsg.), *Driver adaptation to information and assistance systems* (S. 13–44). IET Inst. of Engineering and Technology.
- Weidmann, U. (1992). *Transporttechnik der Fussgänger: Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs, Literaturlauswertung*. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-000687810>
- Weigl, K., Eisele, D. & Riener, A. (2022). Estimated years until the acceptance and adoption of automated vehicles and the willingness to pay for them in Germany: Focus on age and gender. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 11(2), 216–228. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2022.03.006>
- Weller, G. & Schlag, B. (2004). Verhaltensadaptation nach Einführung von Fahrerassistenzsystemen: Vorstellung eines Modells und Ergebnisse einer Expertenbefragung. In B. Schlag (Hrsg.), *Verkehrspsychologie: Mobilität - Sicherheit - Fahrerassistenz* (S. 351–370). Pabst Science Publ.
- Werner, A. (2018). New Colours for Autonomous Driving: An Evaluation of Chromaticities for the External Lighting Equipment of Autonomous Vehicles. *Colour Turn*, 1(1), 1–14. <https://doi.org/10.25538/tct.v0i1.692>
- Wickens, C. (2018). Automation Stages & Levels, 20 Years After. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 12(1), 35–41. <https://doi.org/10.1177/1555343417727438>
- Wilbrink, M., Lau, M., Illgner, J., Schieben, A. & Oehl, M. (2021). Impact of External Human–Machine Interface Communication Strategies of Automated Vehicles on Pedestrians’ Crossing Decisions and Behaviors in an Urban Environment. *Sustainability*, 13(15), Artikel 8396. <https://doi.org/10.3390/su13158396>
- Wilde, G. J. S. (1982). The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health. *Risk Analysis*, 2(4), 209–225. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1982.tb01384.x>
- Wilde, G. J. S. (1998). Risk homeostasis theory: an overview. *Injury Prevention: Journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 4(2), 89–91. <https://doi.org/10.1136/ip.4.2.89>
- Wilson, J. R. & Rutherford, A. (1989). Mental Models: Theory and Application in Human Factors. *Human factors*, 31(6), 617–634. <https://doi.org/10.1177/001872088903100601>
- Winter, J. de (2014). Why person models are important for human factors science. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 15(6), 595–614. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2013.856494>



- 
- Winter, J. de, Bazilinskyy, P., Wesdorp, D., Vlam, V. de, Hopmans, B., Visscher, J. & Dodou, D. (2021). How do pedestrians distribute their visual attention when walking through a parking garage? An eye-tracking study. *Ergonomics*, 64(6), 793–805. <https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1862310>
- Winter, J. de & Dodou, D. (2022). External human–machine interfaces: Gimmick or necessity? *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 15, Artikel 100643. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100643>
- Wirtz, M. A. & Dorsch, F. (Hrsg.). (2017). *Dorsch - Lexikon der Psychologie* (18., überarbeitete Auflage). Hogrefe.
- Wobbrock, J. O., Findlater, L., Gergle, D. & Higgins, J. J. (2011). The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only anova procedures. In *CHI 2011: 29th Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Vancouver, BC, USA* (S. 143–146). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/1978942.1978963>
- World Health Organization (Hrsg.). (2018). *Global status report on road safety 2018: summary* (WHO/NMH/NVI/18.20). Genf. Abgerufen am 31. August 2022, von <https://apps.who.int/iris/handle/10665/277370>
- Yang, X. J., Schemanske, C. & Searle, C. (2021). Toward Quantifying Trust Dynamics: How People Adjust Their Trust After Moment-to-Moment Interaction With Automation. *Human factors*, 1-17. <https://doi.org/10.1177/001872082111034716>
- Zegeer, C. V. & Bushell, M. (2012). Pedestrian crash trends and potential countermeasures from around the world. *Accident; analysis and prevention*, 44(1), 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.12.007>
- Zhou, H., Romero, S. B. & Qin, X. (2016). An extension of the theory of planned behavior to predict pedestrians' violating crossing behavior using structural equation modeling. *Accident; analysis and prevention*, 95(Pt B), 417–424. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.09.009>
- Zhou, S., Sun, X., Liu, B. & Burnett, G. (2022). Factors Affecting Pedestrians' Trust in Automated Vehicles: Literature Review and Theoretical Model. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 52(3), 490–500. <https://doi.org/10.1109/THMS.2021.3112956>
- Zhuang, X. & Wu, C. (2014). Pedestrian gestures increase driver yielding at uncontrolled mid-block road crossings. *Accident; analysis and prevention*, 70, 235–244. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.12.015>
- Zito, G. A., Cazzoli, D., Scheffler, L., Jäger, M., Müri, R. M., Mosimann, U. P., Nyffeler, T., Mast, F. W. & Nef, T. (2015). Street crossing behavior in younger and older pedestrians: an eye- and head-tracking study. *BMC geriatrics*, 15, Artikel 176. <https://doi.org/10.1186/s12877-015-0175-0>

---

## Studentische Arbeiten

### Methodische Arbeiten

- Dong, F., Liao, L., Qin, M., Sajjad, J. & Stephan, T. (2019). *Development of a Measurement System to Determine the Gap Acceptance in Pedestrian-Vehicle-Interaction*. Advanced Design Project. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Frank, M., Hebgen, N., Schenkel, T., Schmitt, F. & Weber, N. (2018). *Geisterfahrer - Entwurf eines Wizard-of-Oz Experiments zur Untersuchung der Interaktion zwischen hochautomatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern*. Advanced Design Project. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Hess, C. (2019). *Evaluation des Verhaltens von Fußgängerinnen und Fußgängern an Übergängen: Validierung eines Verhaltensfragebogens*. Studienarbeit. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Petersohn, P., Pick, A. & Yigit, Y. (2019). *Geisterfahrer 2.0 - Anwendung und Weiterentwicklung der Wizard-of-Oz Methode*. Tutorium. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.

### Theoretische und empirische Vorarbeiten

- Alexandi, E., Drews, R., Klassen, L., Petersohn, P., Pick, A. & Schwindt, S. (2019). *Fährt das Auto autonom? - Entwicklung und Evaluation einer Mensch-Maschine-Schnittstelle für Fußgängerinnen und Fußgänger*. Advanced Design Project. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Bohlen, J. (2019). *Was wird der Autofahrer tun? Eine videobasierte Umfrage zur Antizipation von Fußgängerinnen und Fußgängern im Straßenverkehr*. Studienarbeit. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Flietel, M.-T. (2020). *Mentale Modelle von Fußgängerinnen und Fußgängern bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw*. Masterthesis. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Herten, S. (2019). *Untersuchung von Verhaltensanpassungen von Fußgängerinnen und Fußgängern bei der Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen*. Studienarbeit. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Kruft, V. (2020). *Analyse von Verhaltensanpassungen von Fußgängerinnen und Fußgängern bei der Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen*. Studienarbeit. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.

### Konstruktive und konzeptuelle Arbeiten

- Behlulaj, F., Ghaemi, H., Prajapati, N., Sakthivel, P. & Zallqi, A. (2020). *Entwicklung einer externen Mensch-Maschine Schnittstelle für (hoch-)automatisierte Fahrzeuge*. Advanced Design Project. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.

---

Dietzig, J. P., Kohls, S. K., Stumpf, S. C., Süß, P. & Yaunan, S. (2019). *Hat es mich gesehen? Konzeption und Entwurf externer Mensch-Maschine-Interfaces für hochautomatisierte Pkws*. Advanced Design Project. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.

### Empirische Arbeiten

- Badalyan, K., Güllich, D., Hermann, J., Kicherer, L., Kretschmar, T. & Krufft, V. (2020). *Usability-Evaluation einer externen Mensch-Maschine-Schnittstelle für fahrerlose Pkw - Eine Untersuchung mit Fußgänger/-innen*. Tutorium. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Buntenbach, L. (2022). *Experimentelle Untersuchung der Lückenakzeptanz von Fußgänger:innen bei der Interaktion mit automatisierten Pkw - unter dem Aspekt der Automationstransparenz*. Bachelorthesis. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Fischler, R., Ibrahim, K., Kleudgen, J. & Geis, M. (2021). *Empirische Untersuchung des Verhaltens von Fußgänger:innen bei der Interaktion mit automatisierten Pkw in einer virtuellen Versuchsumgebung*. Advanced Research Project. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Glock, N., Herter, D., Theobald, J. & Ulusoy, B. (2021). *Analyse der Auswirkungen einer transparenten Automation in der Mensch-Fahrzeug-Interaktion in einem kontrollierten Feldtest*. Tutorium. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Heinz, F. (2022). *Analysis of the Gap Acceptance of Pedestrians when Interacting with Automated Cars*. Masterthesis. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Jia, L. (2022). *Distracted by eHMIs? An Empirical Investigation of Pedestrian Interactions with Automated Vehicles in Shared Spaces*. Masterthesis. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Liu, Z. (2021). *Symbols - for a strong expressiveness of automated vehicles? Design and evaluation of an external Human-Machine-Interface*. Masterthesis. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Mikolajczak, I. (2022). *Analyse der Entwicklung von Vertrauen und des mentalen Modells von Fußgänger:innen bei der Interaktion mit automatisierten Pkw*. Masterthesis. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Nikala, Y. (2022). *Experimentelle Untersuchung der Entwicklung des Vertrauens und mentalen Modells von Fußgänger:innen bei der Interaktion mit automatisierten Pkw in Abhängigkeit der Automationstransparenz*. Bachelorthesis. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Vögler, M. (2021). *Evaluation einer externen Mensch-Maschine-Schnittstelle für fahrerlose Pkw - unter dem Aspekt des Lernverhaltens von Fußgänger/-innen*. Masterthesis. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Webler, A. (2022). *Menschenzentrierte Entwicklung und Evaluation einer Instruktion von Fußgänger:innen zu automatisierten Fahrzeugen mit externer Mensch-Maschine-Schnittstelle*. Masterthesis. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.

---

## Relevante Normen und internationale Standardisierungsarbeiten

- Deutsches Institut für Normung e.V. (2020). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Interaktionsprinzipien* (DIN EN ISO 9241-110). Beuth Verlag GmbH.  
<https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-9241-110/320862700>
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2020). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme* (DIN EN ISO 9241-210). Beuth Verlag GmbH.  
<https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-9241-210/313017070>
- International Organization for Standardization. (2018). *Road Vehicles – Ergonomic aspects of external visual communication from automated vehicles to other road users* (ISO/TR 23049:49:2018).  
<https://www.iso.org/standard/74397.html>
- International Organization for Standardization. (2023). *Road vehicles – Ergonomic design guidance for external visual communication from automated vehicles to other road users*. (ISO/AWI PAS 23735, under development). <https://www.iso.org/standard/77988.html>
- SAE International. (2016). *Human Factors Definitions for Automated Driving Related Research Topics*. (J3114\_201612). 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States.  
[https://doi.org/10.4271/J3114\\_201612](https://doi.org/10.4271/J3114_201612)
- SAE International. (2019). *Automated Driving System (ADS) Marker Lamp*. (SAE J3134\_201905). 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States. [https://doi.org/10.4271/J3134\\_201905](https://doi.org/10.4271/J3134_201905)
- SAE International. (2021). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*. (SAE J3016\_202104). 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States. [https://doi.org/10.4271/J3016\\_202104](https://doi.org/10.4271/J3016_202104)
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2022). *Taskforce on Autonomous Vehicle Signalling Requirements (AVSR). Draft report 8th meeting*.  
<https://wiki.unece.org/display/trans/AVSR+-+8th+session%2C+2022-10-17>

---

## Verzeichnis der Datensätze

---

Das Verzeichnis der Datensätze referenziert die in dieser Arbeit entstandenen Datensätze. Alle in dieser Arbeit generierten und verwendeten Datensätze sind im Repository für Forschungsdaten der Technischen Universität Darmstadt (TUdataLib-Repository) hinterlegt.

### Interviewstudie

Joisten, P. (2023). *Datensatz zur Interviewstudie: Untersuchungen zu Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw* (Version 1) [Datensatz]. <https://doi.org/10.48328/tudatalib-1055>

### Kontrollierter Feldtest

Joisten, P. (2023). *Datensatz zum kontrollierten Feldtest: Untersuchungen zu Verhaltensanpassungen von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit hochautomatisierten Pkw* (Version 1) [Datensatz]. <https://doi.org/10.48328/tudatalib-1056>

---

---

## Anhang

---

A	Veröffentlichungen.....	A-1
B	Taxonomie der eMMS .....	A-5
C	Halbstrukturierter Interviewleitfaden .....	A-7
D	Versuchspersonen.....	A-8
E	Matlab-Code.....	A-11
F	Protokoll-Vorlage für den ersten Versuchstag des kontrollierten Feldtests.....	A-14
G	Regressionsanalysen.....	A-21

---

## A Veröffentlichungen

### Primäre Veröffentlichungen

Sechs begutachtete Konferenz- und zwei Zeitschriftenartikel, die die Untersuchung der Forschungsfragen begleiten, werden im Folgenden aufgelistet. Die Beiträge anderer und meine eigenen Beiträge sind jeweils beschrieben.

#### *Begutachtete Zeitschriftenartikel*

---

Joisten, P., Bier, L., & Abendroth, B. (2022). Validierung der deutschen Fassung der „Pedestrian Behavior Scale“: Ein Fragebogen zur Erfassung des Verhaltens von Fußgänger:innen bei der Straßenüberquerung. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 68(1), 13-21.

**Meine Beiträge:** Ich war für die Ideenfindung und Konzeptionierung der Veröffentlichungsinhalte verantwortlich. Des Weiteren erstelle ich das Studiendesign, erhob und wertete die Daten aus und schrieb das Manuskript der Arbeit.

**Beiträge anderer:** Lukas Bier und Bettina Abendroth kommentierten das Manuskript der Veröffentlichung. Bettina Abendroth beschaffte die finanziellen Ressourcen, die zu dieser Veröffentlichung geführt haben.

---

Joisten, P., Freund, A., & Abendroth, B. (2020). Gestaltungsdimensionen der Kommunikation von automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 74(2), 132-145. <https://doi.org/10.1007/s41449-020-00199-7>

**Meine Beiträge:** Ich konzeptionierte die Inhalte der Veröffentlichung und entwickelte die verwendete Methodik sowie theoretischen Rahmenwerke. Zusätzlich wertete ich die erhobenen Daten aus und schrieb das Manuskript der Arbeit.

**Beiträge anderer:** Anton Freund erhob Daten der Beobachtungsstudie im Feld. Bettina Abendroth kommentierte das Manuskript der Arbeit und beschaffte die finanziellen Ressourcen, die zu dieser Veröffentlichung geführt haben.

---

#### *Begutachtete Konferenzbeiträge*

---

Joisten, P., Schwindt, S., Theobald, N., & Abendroth, B. (2022). Pedestrians' Mental Model Development after Initial Encounters with Automated Driving Systems. In: *33rd European Conference on Cognitive Ergonomics (ECCE 2022)*. 4.-7. Oktober 2022, Kaiserslautern. <https://doi.org/10.1145/3552327.3552331>

**Meine Beiträge:** Ich konzeptionierte die Inhalte und Methode der Veröffentlichung. Des Weiteren wurde die empirischen Daten von mir erhoben und analysiert. Ich erstellte und finalisierte das Manuskript der Veröffentlichung.

**Beiträge anderer:** Sarah Schwindt schrieb die Definition von mentalen Modellen. Sarah Schwindt, Nina Theobald und Bettina Abendroth kommentierten das Manuskript der Arbeit. Bettina Abendroth beschaffte die finanziellen Ressourcen, die zu dieser Veröffentlichung geführt haben.

---

Joisten, P., Theobald, N., & Abendroth, B. (2022). Pedestrians' Crossing Decisions While Interacting with Automated Vehicles – Insights from a Longitudinal Study. In: *13th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2022)*. 24.-28. Juli 2022, New York. <https://doi.org/10.54941/ahfe1002445>

**Meine Beiträge:** Ich konzeptionierte die Inhalte und Methode der Veröffentlichung. Des Weiteren wurde die empirischen Daten von mir erhoben und analysiert. Ich erstellte und finalisierte das Manuskript der Veröffentlichung.

**Beiträge anderer:** Nina Theobald und Bettina Abendroth kommentierten das Manuskript der Arbeit. Bettina Abendroth beschaffte die finanziellen Ressourcen, die zu dieser Veröffentlichung geführt haben.

---

Joisten, P. (2022). Erfahrungseffekte von Fußgänger:innen bei der Interaktion mit automatisierten Pkw – Ein Untersuchungskonzept. In: *68. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft*. 2.-4. März 2022, Magdeburg, virtuelle Konferenz.

Joisten, P., Niessen, P., & Abendroth, B. (2021). Pedestrians' Attitudes Towards Automated Vehicles: A Qualitative Study Based on Interviews in Germany. In: *Proceedings of the 21<sup>st</sup> Congress of the International Ergonomics Association* (S. 664-673), 14.-18. Juni 2021, virtuelle Konferenz. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7\\_81](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7_81)

**Meine Beiträge:** Ich konzeptionierte die Inhalte und Methode der Veröffentlichung. Zusätzlich wurden die empirischen Daten von mir erhoben und ausgewertet. Ich erstelle und finalisierte das Manuskript der Veröffentlichung.

**Beiträge anderer:** Pia Niessen konzeptionierte die Methode der Veröffentlichung und wertete die erhobenen Daten aus. Pia Niessen und Bettina Abendroth kommentierten das Manuskript der Veröffentlichung. Bettina Abendroth beschaffte die finanziellen Ressourcen, die zu dieser Veröffentlichung geführt haben.

---

Joisten, P., Vögler, M.K., & Abendroth, B. (2021). Gewöhnen wir uns an fahrerlose Pkw? Untersuchung der Intention zur Straßenüberquerung von Fußgänger/-innen im kontrollierten Feld. In: *63. Tagung experimentell arbeitender Psychologen (TeaP)*. 14.-16. März 2021, virtuelle Konferenz.

**Meine Beiträge:** Ich konzeptionierte die Inhalte und Methode der Veröffentlichung. Zusätzlich wurden die empirischen Daten von mir erhoben und ausgewertet. Ich erstelle und finalisierte das Manuskript der Veröffentlichung.

**Beiträge anderer:** Marleen Vögler unterstützte bei der Datenerhebung im kontrollierten Feld. Bettina Abendroth kommentierte das Manuskript der Arbeit und beschaffte die finanziellen Ressourcen, die zu dieser Veröffentlichung geführt haben.

---



Joisten, P., Alexandi, E., Drews, R., Klassen, L., Petersohn, P., Pick, A., Schwindt, S., & Abendroth, B. (2019). Displaying Vehicle Driving Mode: Effects on Pedestrian Behavior and Perceived Safety. In: *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Human Systems Engineering and Design: Future Trends and Applications (IHSED2019)*. 16.-18. September 2019, München. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8_38)

**Meine Beiträge:** Ich konzeptionierte die Inhalte und Methode der Veröffentlichung. Zusätzlich wurden die empirischen Daten von mir erhoben und ausgewertet. Ich erstelle und finalisierte das Manuskript der Veröffentlichung.

**Beiträge anderer:** Emanuel Alexandi, Robin Drews, Liane Klassen, Patrick Petersohn, Alexander Pick und Sarah Schwindt unterstützten bei der Datenerhebung im kontrollierten Feld und entwickelten den untersuchten Prototypen. Bettina Abendroth kommentierte das Manuskript der Arbeit und beschaffte die finanziellen Ressourcen, die zu dieser Veröffentlichung geführt haben.

---

### Sekundäre Veröffentlichungen

Fünf weitere Veröffentlichungen, die keinen direkten Bezug zur Beantwortung der Forschungsfragen dieser Arbeit haben, jedoch zum Forschungsgegenstand des Verhaltens von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr beitragen und die empirischen Untersuchungen in dieser Arbeit unterstützen bzw. erweitern, werden im Folgenden kurz beschrieben. Es wird dargelegt wie sie im Zusammenhang mit dieser Arbeit stehen.

---

Joisten, P., Theobald, N., Webler, A., & Abendroth, B. (2022). Je mehr eHMI, desto besser? Querungsentscheidungen von Fußgänger:innen an Einmündungen mit Signalen von automatisierten Fahrzeugen. In: *64. Tagung experimentell arbeitender Psychologen (TeaP)*. 20.-23. März 2022, Köln.

**Zusammenhang mit dieser Arbeit:** In dieser Veröffentlichung wird das Verhalten von zu Fuß Gehenden bei der Interaktion mit mehreren automatisierten Fahrzeugen mit eMMS-Signalen im Szenario der Einmündung untersucht. Der Untersuchungsgegenstand wird auf Verkehrsszenarien mit multiplen Agenten ausgeweitet.

---

Joisten, P., Liu, Z., Theobald, N., Webler, A., & Abendroth, B. (2021). Communication of Automated Vehicles and Pedestrians Groups: An Intercultural Study on Pedestrians' Street Crossing Decisions. In: *Mensch und Computer 2021 (MuC2021)*. 5.-8. September 2021, Ingolstadt, hybride Konferenz. <https://doi.org/10.1145/3473856.3474004>

**Zusammenhang mit dieser Arbeit:** In dieser Veröffentlichung wird der Untersuchungsgegenstand auf Interaktionen eines automatisierten Fahrzeugs mit mehreren zu Fuß gehenden Personen (multiple Agenten) ausgeweitet. Die Einflussgröße der Gruppengröße von zu Fuß Gehenden im Straßenverkehr auf die Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen wird untersucht.

---

---

Joisten, P., Theobald, N., Schwindt, S., Walter, J., & Abendroth, B. (2020). Designing the Communication with Automated Vehicles: The Case of Elderly Pedestrians. In: *Workshop on Inclusive Communication between Automated Vehicles and Vulnerable Road Users. In conjunction with MobileHCI2020*. 5.-9. Oktober 2020, virtuelle Konferenz. <https://wecare-workshop.github.io/assets/papers/JoistenEtAl.pdf>

**Zusammenhang mit dieser Arbeit:** Dieser theoretische Beitrag behandelt ältere Personen als besondere Agenten der Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen mit eMMS. Die Einflussgröße des Alters einer Person auf die Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen wird behandelt.

---

Joisten, P., Müller, A., Walter, J., Abendroth, B., & Bruder, R. (2019). Neue Ansätze der Human Factors Forschung im Zeitalter des hochautomatisierten Fahrens. In: *9. Darmstädter Kolloquium Mensch und Fahrzeug*. 2.-3. April 2019, Darmstadt. <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/8067/1/Menschund%20Fahrzeug%20Tagungsband%202019.pdf>

**Zusammenhang mit dieser Arbeit:** Dieser theoretische Beitrag skizziert u. a. die Wizard-of-Oz Methode als wichtiges Werkzeug zur Erforschung der Interaktion von zu Fuß Gehenden und automatisierten Fahrzeugen.

---

Joisten, P., Barden, J., Becker, A., & Abendroth, B. (2019). Wie wollen Fußgänger mit einem automatisierten Bus kommunizieren? Ergebnisse einer Befragung im Testfeld Bad Birnbach. In: *65. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft*. 27. Februar bis 1. März 2021, Dresden.

**Zusammenhang mit dieser Arbeit:** In diesem empirischen Beitrag wird eine kombinierte Beobachtungs- und Interviewstudie von und mit zu Fuß Gehenden in einem Testfeld von automatisierten Bussen beschrieben. Die Erkenntnisse lieferten erste explorative Erkenntnisse zur Modell- und Hypothesenbildung für diese Dissertation.

---

## B Taxonomie der eMMS

Tabelle B-1: Taxonomie der Gestaltungsdimensionen einer eMMS für automatisierte Fahrzeuge nach Dey, Habibovic, Löcken et al. (2020) [Tabellenspalte 1 bis 3] und Anwendung der Taxonomie auf die im kontrollierten Feldtest eingesetzten eMMS („niedrige AT“ und „hohe AT“) [Tabellenspalten 4 und 5].

#	Dimension	Ausprägungen	eMMS „niedrige AT“	eMMS „hohe AT“
1	Adressierte Verkehrsteilnehmende	Zu Fuß Gehende, Fahrradfahrende, Fahrende konventioneller Fahrzeuge, andere Verkehrsteilnehmende	Zu Fuß Gehende	Zu Fuß Gehende
2	Fahrzeugtyp	Pkw, Shuttle-Bus oder Van, Bus oder Lkw, Lieferroboter, experimentelles Fahrzeug, Sonstiger Typ	Pkw	Pkw
3	Modalität der Kommunikation	Visuell anthropomorph, visuell – Text, visuell – Symbol, visuell abstract, visuell – nicht spezifiziert, auditiv – Sprache, auditiv – abstract / sonstige, auditiv – nicht spezifiziert, haptisch, Körpersprache, Sonstige Modalität	Visuell abstract	Visuell abstract
4	Farbe der visuellen eMMS	Schwarz, blau, cyan, grün, rot, lila/violett, weiß, gelb/bernsteinfarben, nicht spezifiziert	Cyan RGB-Farbraum = (0, 255, 255)	Cyan RGB-Farbraum = (0, 255, 255)
5	Abgedeckte Modi	Statusanzeige über den Fahrmodus, Cruising / Fahren („not yielding“), nachgeben („yielding“), verlangsamen, in Ruhe, anfahren, im Platoon, Sonstiger Modi	Statusanzeige über den Fahrmodus	Statusanzeige über den Fahrmodus, nachgeben („yielding“)
6	Information der Kommunikation bei Vorfahrtsverhandlung	Intention, Aktion, Instruktion / Empfehlung, Zeit zur Querung, Situationsbewusstsein, Fahrzeugposition / -trajektorie, Gefahrenzone / sichere Zone, Warnung, sonstige Information	-/-	Intention, Situationsbewusstsein
7	Position der MMS	Am Fahrzeug – Windschutzscheibe, Am Fahrzeug – Kühlergrill, Am Fahrzeug – Stoßstange, Am Fahrzeug – Steilenteile, Am Fahrzeug – Heck, Am Fahrzeug – rundherum, Am Fahrzeug – Motorhaube, Am Fahrzeug – Dach, Am Fahrzeug – nicht spezifiziert, Am Fahrzeug – Außenspiegel, An anderen Verkehrsteilnehmenden, Projektion auf der Straße – vor dem Fahrzeug, Projektion auf der Straße – an den Seiten des Fahrzeugs, Projektion auf der Straße – auf der Rückseite des Fahrzeugs, Projektion auf der Straße – nicht spezifiziert, in der Infrastruktur	Am Fahrzeug – Dach	Am Fahrzeug – Dach
8	Anzahl der Anzeigen	Nummerische Anzahl der Anzeigen, ? für unklare Anzahl an Anzeigen	1	1
9	Anzahl der Informationen	Nummerische Anzahl der Informationen, ? für unklare Anzahl der Informationen	1	3
10	Strategie der Kommunikation	Unklarer Unicast, klarer Unicast, Broadcast, unklarer Multicast, klarer Multicast	Broadcast	Unklarer Multicast
11	Auflösung der Kommunikation	Niedrig – benötigt Interpretation (ohne Hinweise), mittel – benötigt Interpretation (mit Hinweisen), hoch – klar und unmissverständlich	Niedrig	Niedrig

#	Dimension	Ausprägungen	eMMS „niedrige AT“	eMMS „hohe AT“
12	Fähigkeit multiple Verkehrsteilnehmende zu adressieren	Nur einzeln, multiple – limitiert, multiple – nicht limitiert	Multiple – nicht limitiert	Multiple - limitiert
13	Abhängigkeit der Kommunikation von Distanz / Zeit	Ja, nein	Nein	Ja
14	Komplexität der Implementierung	C1 – etablierte Technologie im Fahrzeug, C2 – verfügbare Technologie und keine Veränderung der Infrastruktur, C3 – verfügbare Technologie und Veränderung der Infrastruktur, C4 – nicht marktreife Technologie	C2	C2
15	Abhängigkeit vom Fahrzeug-Design	Ja, nein	Nein	Nein
16	Fähigkeit den Zustand der Fahrzeuginsassen zu kommunizieren	Ja, nein	Nein	Nein
17	Einbezug von Menschen mit Behinderungen	Ja, nein	Nein	Nein
18	Evaluation des Konzepts	Ja, nicht spezifiziert	Ja	Ja

Anmerkung. AT = Automationstransparenz

---

## C Halbstrukturierter Interviewleitfaden

### 1. Einstieg

- Bitte denken Sie an eine Situation, in der Sie zu Fuß im Straßenverkehr unterwegs waren und eine Abstimmung mit einem Auto hatten. Beschreiben Sie mir diese Situation bitte so genau wie möglich. Rückfragen: Was war auffällig? Wie fühlten Sie sich in dieser Situation?

### 2. Szenario

- Bitte beschreiben Sie die Ausgangssituation auf dem Bild so genau wie möglich. Denken Sie „laut“ und entwickeln die Ausgangssituation weiter.
  - Was ist besonders am weißen Fahrzeug?
  - Wie könnte sich die Person (Mann oder Frau) verhalten? Warum?
  - Wie könnte sich das weiße Fahrzeug rechts im Bild verhalten? Warum?
  
  - Was sind Ihre Erwartungen: Wie sollten sich automatisierte Fahrzeuge im Straßenverkehr verhalten?
  - Was kann ein automatisiertes Fahrzeug besser als ein Mensch am Steuer?
  - Was kann ein automatisiertes Fahrzeug schlechter als ein Mensch am Steuer?
  - Was sind Ihre Erwartungen: Wie sollten sie sich bei einer Abstimmung mit Fußgängern verhalten?

### 3. Eigene Handlung

- Versetzen Sie sich nun bitte in die Lage des/der Manns/Frau am Straßenrand. Sie möchten die Straßen überqueren, um den anfahrenden Bus auf der anderen Straßenseite zu erreichen. Sie hatten einen langen Arbeitstag hinter sich. Die Busse fahren auch nur alle 30 Minuten. Das heißt, wenn Sie diesen Bus verpassen, haben Sie eine längere Wartezeit. Beschreiben Sie Ihr Verhalten in dieser Situation. Denken Sie „laut“ (ca. 1 Minuten zum Reden animieren).
  - Wie entscheiden Sie sich?
  - Warum entscheiden Sie sich so?
  - Wovon machen Sie Ihre Entscheidung abhängig?
  - Welche Erwartungen haben Sie an das weiße Fahrzeug rechts im Bild?

## D Versuchspersonen

Tabelle D-1: Soziodemographische Merkmale der Versuchspersonen

Charakteristik der Versuchspersonen	Interviewstudie (Int)		Kontrollierter Feldtest (Feld)					
			Automationstransparenz (AT)				gesamt	
	N <sub>Int</sub>		n <sub>AT↓</sub>		n <sub>AT↑</sub>		N <sub>Feld</sub>	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Anzahl der Versuchspersonen	36		17		14		31	
Alter	45,1	18,0	24,5	2,8	23,4	1,8	24,0	2,4
	n <sub>Int.</sub>	%	n <sub>AT↓</sub>	%	n <sub>AT↑</sub>	%	n <sub>Feld</sub>	%
Geschlecht								
weiblich	18	50,0	7	41,2	6	42,9	13	41,9
männlich	18	50,0	10	58,8	8	57,1	18	58,1
Nutzung einer Sehkorrektur								
ja			6	35,3	10	71,4	16	48,4
nein			11	64,7	4	28,6	15	51,6
Nutzung einer Hörkorrektur								
ja			0	0,0	0	0,0	0	0,0
nein			17	100,0	14	100,0	31	100,0
Wohnort (Größe heute)								
< 5.000 Personen			0	0,0	3	21,4	3	9,7
5.000 – 20.000 Personen			5	29,4	2	14,3	7	22,6
20.000 – 100.000 Personen			0	0,0	2	14,3	2	6,5
> 100.000 Personen			12	70,6	7	50,0	19	61,3
Wohnort (Größe früher, 6-12 Jahre)								
< 5.000 Personen			5	29,4	3	21,4	8	25,8
5.000 – 20.000 Personen			7	41,2	6	42,9	13	41,9
20.000 – 100.000 Personen			2	11,8	1	7,1	3	9,7
> 100.000 Personen			3	17,6	4	28,6	7	22,6

Anmerkungen. AT = Automationstransparenz; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung.

Die Prozentangabe bezieht sich auf die Spaltensumme der jeweiligen Gruppe / Studie.

(N<sub>Interviewstudie</sub> = 36; N<sub>k. Feldtest</sub> = 31; n<sub>AT↓</sub> = 17; n<sub>AT↑</sub> = 14)

Tabelle D-2: Merkmale der Mobilität und Verkehrsmittelnutzung

Mobilität und Verkehrsmittelnutzung	Interviewstudie (Int)		Kontrollierter Feldtest (Feld)					
			Automationstransparenz (AT)				gesamt	
	niedrig (AT↓)		hoch (AT↑)		n <sub>Feld</sub>	%		
	n <sub>Int</sub>	%	n <sub>AT↓</sub>	%			n <sub>AT↑</sub>	%
Führerscheinbesitz								
ja	32	88,9	17	100,0	13	92,9	30	96,8
nein	4	11,1	0	0,0	1	7,1	1	3,2
Fahrleistung Pkw								
< 5.000 km pro Jahr	9	28,1	9	52,9	8	61,5	17	56,7
5.000 – 10.000 km pro Jahr	11	34,4	2	11,8	2	15,4	4	13,3
10.000 – 15.000 km pro Jahr	3	9,4	1	5,9	2	15,4	3	10,0
15.000 – 20.000 km pro Jahr	5	15,6	2	11,8	0	0,0	2	6,7
> 20.000 km pro Jahr	2	6,25	0	0,0	0	0,0	0	0,0
weiß nicht	2	6,25	1	5,9	0	0,0	1	3,3
unterschiedlich	0	0,0	2	11,8	1	7,7	3	10,0
	m <sub>Int</sub> <sup>a</sup>	% <sup>b</sup>	m <sub>AT↓</sub> <sup>a</sup>	% <sup>b</sup>	m <sub>AT↑</sub> <sup>a</sup>	% <sup>b</sup>	m <sub>Feld</sub> <sup>a</sup>	% <sup>b</sup>
Primäres Verkehrsmittel (beruflich)								
Automobil	15	41,7	6	35,3	4	28,6	10	32,3
Busse	6	16,7	8	47,1	6	42,9	14	45,2
U-Bahn	7	19,4	6	35,3	8	57,1	14	45,2
S-Bahn	8	22,2	5	29,4	3	21,4	8	25,8
Fahrrad	14	38,9	10	58,8	5	35,7	15	48,4
zu Fuß	12	33,3	6	35,3	4	28,6	10	32,3
motorisiertes Zweirad	2	5,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Scooter	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nichts davon	1	2,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Sonstige	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Primäres Verkehrsmittel (privat)								
Automobil	22	61,1	9	52,9	10	71,4	19	61,3
Busse	9	25,0	10	58,8	7	50,0	17	54,8
U-Bahn	12	33,3	9	52,9	10	71,4	19	61,3
S-Bahn	12	33,3	9	52,9	10	71,4	19	61,3
Fahrrad	29	80,6	11	64,7	7	50,0	18	58,1
zu Fuß	23	63,9	9	52,9	10	71,4	19	61,3
motorisiertes Zweirad	5	13,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Scooter	0	0,0	0	0,0	1	7,1	1	3,2
Nichts davon	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Sonstige	0	0,0	1	5,9	0	0,0	1	3,2
Fahrzeugbesitz								
Automobil	26	72,2	10	58,8	7	50,0	17	54,8
Fahrrad	35	97,2	14	82,4	11	78,6	25	80,6
motorisiertes Zweirad	7	19,4	3	17,6	0	0,0	3	9,7
Scooter	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Sonstige	0	0,0	2	11,8	0	0,0	2	6,5
Keines	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Anmerkungen. AT = Automationstransparenz; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung

Die Prozentangabe bezieht sich auf die Spaltensumme der jeweiligen Gruppe / Studie.

<sup>a</sup> Anzahl der Nennungen (Mehrfachnennungen möglich)

<sup>b</sup> Prozentangabe bezogen auf die Anzahl der Versuchspersonen N<sub>Interviewstudie</sub>, N<sub>k. Feldtest</sub>, n<sub>AT↓</sub> oder n<sub>AT↑</sub>

(N<sub>Interviewstudie</sub> = 36; N<sub>k. Feldtest</sub> = 31; n<sub>AT↓</sub> = 17; n<sub>AT↑</sub> = 14)

Tabelle D-3: Merkmale des Verhaltens als zu Fuß gehende Person im Straßenverkehr

Mobilität und Verkehrsmittelnutzung	Interviewstudie (Int)		Kontrollierter Feldtest (Feld)						
			Automationstransparenz (AT)				gesamt		
	n <sub>Int</sub>	%	niedrig (AT↓)		hoch (AT↑)				n <sub>Feld</sub>
				n <sub>AT↓</sub>	%	n <sub>AT↑</sub>	%		
Anzahl der Tage pro Woche *									
1 bis 2 Tage pro Woche	10	27,8							
3 bis 4 Tage pro Woche	10	27,8							
5 bis 6 Tage pro Woche	8	22,2							
7 Tage pro Woche (täglich)	8	22,2							
Anzahl der Wege pro Tag *									
Nie			1	5,9	0	0,0	1	3,2	
Selten (0 bis 2 Wege)			11	64,7	8	57,1	19	61,3	
Oft (2 bis 4 Wege)			5	29,4	6	42,9	11	35,5	
Häufig (> 4 Wege)			0	0,0	0	0,0	0	0,0	
Dauer der Wege pro Tag *									
0 – 15 Minuten			5	29,4	4	28,6	9	29,0	
15 – 30 Minuten			7	41,2	7	50,0	14	45,2	
30 – 45 Minuten			4	23,5	2	14,3	6	19,4	
45 – 60 Minuten			1	5,9	1	7,1	2	6,5	
> 60 Minuten			0	0,0	0	0,0	0	0,0	
Interaktionsdichte									
sehr schwach <sup>a</sup>	11	30,6	3	17,6	2	14,3	5	16,1	
schwach <sup>b</sup>	16	44,4	7	41,2	8	57,1	15	48,4	
mittelmäßig <sup>c</sup>	7	19,4	6	35,3	4	28,6	10	32,3	
stark <sup>d</sup>	2	5,6	1	5,9	0	0,0	1	3,2	
sehr stark <sup>e</sup>	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	
Unfallbeteiligung									
ja	1	2,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	
nein	35	97,2	17	100,0	14	100,0	31	100,0	

Anmerkungen. AT = Automationstransparenz; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung

Die Prozentangabe bezieht sich auf die Spaltensumme der jeweiligen Gruppe / Studie.

\* mindestens 500 Meter zu Fuß gehend im Straßenverkehr (d. h. befestigte Straßen mit Fahrbahn für Fahrzeuge und Fußwegen / Fahrradwegen)

<sup>a</sup> „Ich werde äußerst selten von anderen Verkehrsteilnehmenden beeinflusst und besitze meine gewünschte Bewegungsfreiheit in vollem Umfang.“

<sup>b</sup> „Die Anwesenheit von anderen Verkehrsteilnehmenden macht sich bemerkbar, bewirkt aber nur eine geringe Beeinträchtigung meiner Bewegungsfreiheit.“

<sup>c</sup> „Meine individuelle Bewegungsmöglichkeit hängt vielfach vom Verhalten der übrigen Verkehrsteilnehmenden ab. Meine Bewegungsfreiheit ist spürbar eingeschränkt.“

<sup>d</sup> „Meine Bewegungsfreiheit ist deutlich eingeschränkt. Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden finden nahezu ständig statt.“

<sup>e</sup> „Es treten ständig gegenseitige Behinderungen zwischen Verkehrsteilnehmenden auf. Meine Bewegungsfreiheit ist in sehr geringem Umfang gegeben.“

(N<sub>Interviewstudie</sub> = 36; N<sub>k. Feldtest</sub> = 31; n<sub>AT↓</sub> = 17; n<sub>AT↑</sub> = 14)



---

## E Matlab Code

```
clc
clear all

% Eingabe von Parametern des Versuchs und Equipments
Treaction = 0.25; % Menschliche Reaktionszeit (s) [vgl. Schlick et al., 2018, S. 251]
TreactionUncertainty = 0.05; % Standardabweichung als Maß für die Unsicherheit der
menschlichen Reaktionszeit
Lvehicletocamera = 3.09; % Distanz zwischen Kamera 2 und Fahrzeugfront
Tswitch = 0.0167; % Zeitverzögerung des Schaltkreises des Lichtsignals (s)
Tflight = 0; % Einschaltverzögerung des Lichtsignals (s)
kilometerspermile = 1.609344; % Umrechnungsfaktor zwischen Meilen und Kilometern
dataInMiles = false; % auf ‚false‘ setzen, wenn die Geschwindigkeitsdaten in km/h erfasst
werden; auf ‚true‘ setzen, wenn die Geschwindigkeitsdaten in mph erfasst werden
cf = 1.0; % Korrekturfaktor, der aus den Daten der Pretest abgeleitet wurde
LmeasuringUncertainty = 0.3344; % Unsicherheit mit dem Messverfahren (m); aus den Daten
des Pretests abgeleitet

% Dieses Skript verwendet keine lineare Interpolation, um die genauen Start- und Endzeiten
zu bestimmen. Stattdessen erfolgt die Auswahl durch Eingabe der Zeit und Auswahl von
nächstgelegenen Werten in den Daten.

% Um die Versuchsdaten zu verarbeiten, ist es notwendig, den Dateipfad der Quelldateien
anzugeben
[FileName, PathName] = uigetfile('...'); % Angabe des Dateipfades
DataFileName = ([char(PathName),char(FileName)])
FILE = importdata(DataFileName);

% Einlesen der Daten aus der CSV-Datei
x = FILE.data(:,1);
y = FILE.data(:,2);

% Bestimmen der Startzeit aus der CSV-Datei; festlegen von Stunde, Minute und Sekunde als
separate Variablen
t00 = FILE.textdata(1,1);
t0 = char(t00);

OBDhour = str2num(t0(end-13:end-12));
OBDhour = OBDhour-1; % Korrekturfaktor für Sommer- / Winterzeit
OBDmin = str2num(t0(end-10:end-9));
OBDsec = str2num(t0(end-7:end-1));

% Eingabe der Start- und Endzeit (von OBS Studio)
% Das Video wird im UTC Zeitformat aufgezeichnet und muss in das lokale Zeitformat
konvertiert werden.
Tstart0 = ('14:11:35.019'); % Beispiel Startzeit
Tend0 = ('14:11:49.771'); % Beispiel Endzeit

% Festlegen von Stunde, Minute und Sekunde als separate Variablen
Tstart = char(Tstart0);
Tstarthour = str2num(Tstart(1:2));
Tstartmin = str2num(Tstart(4:5));
Tstartsec = str2num(Tstart(7:end));

Tend = char(Tend0);
Tendhour = str2num(Tend(1:2));
Tendmin = str2num(Tend(4:5));
Tendsec = str2num(Tend(7:end));
```

```

% Konvertieren der Zeit
Tstartint = 3600 * (Tstarthour - OBDbour) + 60 * (Tstartmin - OBDbmin) + (Tstartsec -
OBDbsec);
Tendint = 3600 * (Tendhour - OBDbour) + 60 * (Tendmin - OBDbmin) + (Tendsec - OBDbsec);

% Identifizieren der Datenpunkte, die direkt _nach_ der Start- und Endzeit liegen.
% Dazu werden die Datenpunkte identifiziert, die _am nächsten_ zur Start- und Endzeit
liegen.
% Wenn die identifizierten Datenpunkte tatsächlich _vor_ der Start- oder Endzeit liegen,
dann werden die darauffolgenden Datenpunkte gewählt.
% Die Datenpunkte werden später verwendet, um ein Intervall für die numerische Integration
der Geschwindigkeit zur Bestimmung der Distanz zu konstruieren.
A = x - Tstartint;
B = x - Tendint;
[~,Index1] = min(abs(A));
if A(Index1) < 0
    Index1 = Index1 + 1;
end
[~,Index2] = min(abs(B));
if B(Index2) < 0
    Index2 = Index2 + 1;
end

% Der erste Wert des Vektors m (Zeitvektor) ist die Startzeit.
% Der korrespondierende Wert des Vektors n (Geschwindigkeitsvektor) ist die
Fahrzeuggeschwindigkeit am letzten Abfragepunkt von OBDbwiz vor der Startzeit.
% Es resultieren korrespondierende Paare von Zeit und Geschwindigkeit, die von OBDbwiz
zwischen Start- und Endzeit ausgelesen wurden.
% Der letzte Wert von m ist die Endzeit.
% Der korrespondierende Wert des Vektors n ist die Fahrzeuggeschwindigkeit am letzten
Abfragezeitpunkt nach der Endzeit.
m = [Tstartint; x(Index1:Index2-1); Tendint];
n = y(Index1-1:Index2);

% Die folgende Umrechnung ist notwendig, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit in mph gemessen
wurde.
if dataInMiles == true
    n = n * kilometerspermile;
end

% Berechnen der vom Fahrzeug gefahrenen Distanz, nachdem die Versuchsperson den Druckknopf
gedrückt hat und dem aufleuchten des Lichtsignals (Ldelay)
Tdelay = Tendint - (Treaction + Tswitch + Tlight);
C = x - Tdelay;
[~,Index3] = min(abs(C));
if C(Index3) < 0
    Index3 = Index3 + 1;
end
delaym = [Tdelay; x(Index3:Index2-1); Tendint];
delayn = [y(Index3-1:Index2)];
% Die folgende Umrechnung ist notwendig, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit in mph gemessen
wurde.
if dataInMiles == true
    delayn = delayn * kilometerspermile;
end
Ldelay = cf * (trapz(delaym,delayn))/3.6;

```

```

% Berechnen der Unsicherheit der zurückgelegten Strecke aufgrund der Unsicherheit der
menschlichen Reaktionszeit.
LdelayUncertainty = TreactionUncertainty * y(Index3)/3.6;

% Berechnen der Gesamtunsicherheit als geometrische Summe der beiden Unsicherheiten
(Ldelay und Lmeasuring)
LtotalUncertainty = sqrt(LdelayUncertainty^2 + LmeasuringUncertainty^2);

% Erstellen des Geschwindigkeits-Zeit-Diagramms zur Prüfung der Berechnungen
plot(m,n);
xlabel('Zeit (s)');
ylabel('Fahrzeuggeschwindigkeit (km/h)');
title('Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm');

% ldrive ist die zurückgelegte Distanz des Fahrzeugs.
% gap ist die Lücke zwischen Versuchsperson und Fahrzeug bei Betätigung des Druckknopfes
ldrive = cf * (trapz(m,n))/3.6;
gap = 48.10 - ldrive - Lvehicletocamera + Ldelay;
gapstr = num2str(gap);
LmUncstr = num2str(LmeasuringUncertainty);
LdUncstr = num2str(LdelayUncertainty);
LtUncstr = num2str(LtotalUncertainty);
str = sprintf('Die Lücke (gap) ist %s m. \n Die Unsicherheit des Messsystems ist: %s m \n
Die Unsicherheit der menschlichen Reaktionszeit ist: %s m \n Die Gesamtunsicherheit ist:
%s m',gapstr, LmUncstr, LdUncstr, LtUncstr);
msgbox(str)

```

## F Protokoll-Vorlage für den ersten Versuchstag des kontrollierten Feldtests

### Checkliste für VL

(Versuchstag 1 / hohe Automationstransparenz)

VP-Code: \_\_\_\_\_

Datum / Uhrzeit: \_\_\_\_\_

iad

#### Vor Versuchsbeginn:

Computermaus / Tastatur desinfiziert? Ja:

Druckknopf Lichtsignal desinfiziert? Ja:

**VP in Empfang nehmen.** Treffpunkt: Position Nähe der Schranke zum Versuchsfeld.

Der **VP-Code** setzt aus den ersten beiden Buchstaben des Vornamens Ihrer Mutter und den ersten beiden Ziffern des Geburtsdatums Ihres Vaters zusammen.

(Beispiel: Maria und 14.10.1960 wird zu MA14.)

Auf **COVID-19 Hygienekonzept** hinweisen und **3G-Nachweis** kontrollieren. **COVID-19 Schnelltest** anbieten.

**Wetterbedingungen** dokumentieren.

3G-Nachweis kontrolliert:  VL-Kürzel: \_\_\_\_\_

Wetterbedingungen (sonnig, bewölkt, leichter Regen, schwerer Regen) – *bitte beschreiben:*

**Vorabfragebogen ausgefüllt von VP ausgefüllt?** Ja:  Nein:  (hinweisen)

**Mit VP in den Besprechungsraum gehen.**

**Einverständniserklärung (inkl. Datenschutz) und Einwilligung zu Bild- und Tonaufnahmen** von VP unterschreiben lassen.

Wenn von VP gewünscht: Exemplare mitgeben.

Einverständniserklärung / Datenschutz:

Einwilligung Bild- & Tonaufnahmen:

**Fragebogen** von VP am Rechner ausfüllen lassen.

- Verknüpfung zum Fragebogen auf dem Desktop öffnen
- Seite 1 des Fragebogens: Versuchstag – **Option 1.1 auswählen**
- Seite 1 des Fragebogens: VP-Code vermerken

## Gehgeschwindigkeit messen:

### Startposition VP (Weiße Markierung vor der Lichtschranke):



### In das Versuchsszenario einführen:

Beschreibung vorlesen und Bild „Versuchsszenario“ zeigen:

„Sie sind zu Fuß in der Stadt unterwegs und befinden sich in einem Shared Space. In einem Shared Space gibt es keine Verkehrszeichen, Ampeln oder Fahrbahnmarkierungen. Gleichzeitig sind alle Verkehrsteilnehmenden vollständig gleichberechtigt.“

Sie sind mit Freunden in einem nahegelegenen Café verabredet. Weil Sie spät dran sind, wollen Sie jetzt so schnell wie möglich zu Fuß in das nahegelegene Café gehen.“

*Rückfragen klären.*

### Gehgeschwindigkeit beim Überqueren messen:

(1) Ihre Aufgabe ist es jetzt, zu Ihrem Ziel zu gehen. Bitte versetzen Sie sich vorher noch einmal in die beschriebene Situation

(2) Beschreibung des Versuchsszenarios wiederholen (2. Absatz).

(3) Zeit mit Stoppuhr stoppen (Handy), die die VP zum Erreichen des Ziels benötigt. Nicht mitlaufen!

Startsignal: VL zählt runter („3, 2, 1, Los.)

Ende: 1. Fuß des VP betritt die markierte Stelle / mit dem Signal der Lichtschranke.

Gehgeschwindigkeit VP: \_\_\_\_\_ (in Sekunden)

**Mit VP zum Versuchsstand gehen.**

**Startposition VP (Versuchsstand):** Markiertes Kreuz vor der Pylone



In das **Versuchsszenario** erinnern:

Beschreibung vorlesen

„Sie sind zu Fuß in der Stadt unterwegs und befinden sich in einem Shared Space. In einem Shared Space gibt es keine Verkehrszeichen, Ampeln oder Fahrbahnmarkierungen. Gleichzeitig sind alle Verkehrsteilnehmenden vollständig gleichberechtigt.

Sie sind mit Freunden in einem nahegelegenen Café verabredet. Weil Sie spät dran sind, wollen Sie jetzt so schnell wie möglich zu Fuß in das nahegelegene Café gehen.“

**VP die Distanz zwischen Startposition und Tisch („Fahrbahn“) gehen lassen.**

(VP aufklären über die Straße zu gehen, als Referenz um das Gefühl für die Distanz zu haben.)

**VP-Aufgabe vorlesen:**

„Schauen Sie nach links. Die Aufgabe startet, sobald das Fahrzeug die Pylonen durchfahren hat.

Jedes Mal, wenn Sie sich zur Querung vor dem Fahrzeug sicher fühlen, gehen Sie wie folgt vor:

- (1) Drücken Sie den Knopf.
- (2) Halten Sie den Knopf so lange gedrückt, wie Sie sich sicher fühlen.
- (3) Wenn Sie sich nicht mehr sicher fühlen, lassen Sie den Knopf los.“
- (4) Sobald Sie sich wieder sicher fühlen, drücken Sie den Knopf erneut.
- (5) Der Versuch endet, wenn das Fahrzeug Sie passiert hat (an Ihnen vorbeigefahren ist.)

Wiederholen, mind. bei den ersten beiden Durchfahrten und auf Anfrage des VP

**Startsignal VP geben:** „Jetzt kommt ein vom Mensch gesteuerter Pkw.“

**Startsignal an Fahrer (Handzeichen) geben.**

	<u>Korrekt?</u>	<u>Anmerkungen (Fahrverhalten):</u>
1. Wiederholung: Fahrverhalten - durchfahren	<input type="radio"/>	
2. Wiederholung: Fahrverhalten – mit Bremsung	<input type="radio"/>	
3. Wiederholung: Fahrverhalten - durchfahren	<input type="radio"/>	
4. Wiederholung: Fahrverhalten – mit Bremsung	<input type="radio"/>	

## Training zum automatisierten Fahren und externer Anzeige durchführen:

### Position VP im Zelt & Flipchart:



### Aufklärung zum automatisieren Fahren durchführen:

Beschreibung vorlesen:

„Ein automatisierter Pkw wird nicht von einem Menschen, sondern von einer Technologie gesteuert und die Fahrerin bzw. der Fahrer kann sich fahrfremden Tätigkeiten zuwenden (Ein Beispiel geben: Der Fahrer kann einen Film gucken).

Vollautomatisierte Pkw können die Fahraufgabe in einem bestimmten Bereich vollständig übernehmen.“

### Aufklärung zur eMMS durchführen:

Beschreibung vorlesen:

„Eine externe Anzeige / ein Lichtband an automatisierten Pkw sollen in Zukunft die Kommunikation zwischen Menschen, also bspw. Fahrer/-in und Fußgänger/-in, ersetzen. Sie sehen gleich drei Bilder, die Ihnen die externe Anzeige erklären sollen.“

Bilder auf der Flipchart zeigen und erklären:

#### Erklärung Bild 1:

- Die leuchtenden Lichter in der Farbe Cyan zeigen den automatisierten Betrieb des Pkws an.

#### Erklärung Bild 2:

- Die leuchtenden Lichter in der Farbe Cyan zeigen den automatisierten Betrieb des Pkws an.
- Die leuchtenden Lichter in der Farbe Cyan an den Ecken zeigen an, dass der automatisierte Pkw dich detektiert hat bzw. dich gesehen hat.

#### Erklärung Bild 3:

- Die leuchtenden Lichter in der Farbe Cyan zeigen den automatisierten Betrieb des Pkws an.
- Die leuchtenden Lichter in der Farbe Cyan an den Ecken zeigen an, dass der automatisierte Pkw dich detektiert hat bzw. dich gesehen hat.
- Die leuchtenden Lichter in der Farbe Cyan an den Ecken fangen langsam an zu pulsieren, wenn dir der automatisierte Pkw Vorrang gewähren will.

### Memory Test durchführen:

Bilder zum Memory Test zeigen und Fragen stellen; **bei nicht korrekter Antwort neu aufklären.**

Bild 1: Welche Bedeutung hat das Lichtsignal auf diesem Bild? (Korrekt: Automationsstatus)

Korrekt?  Neu aufklären?

Bild 2: Welche Bedeutung hat es, wenn das Lichtsignal an den Ecken des Lichtbandes aktiviert ist? (Korrekt: Ich wurde gesehen / detektiert).

Korrekt?  Neu aufklären?

Bild 3: Welche Bedeutung hat es, wenn das Lichtsignal an den Ecken des Lichtbandes pulsiert bzw. auf- und ableuchtet? (Korrekt: Das Fahrzeug zeigt an, dass es stehen bleiben wird.)

Korrekt?  Neu aufklären?

### Versuchsszenarien durchführen:

#### Startposition VP (Versuchsszenario):



#### VP an das Shared Space Versuchsszenario erinnern.

##### VP-Aufgabe vorlesen:

„Schauen Sie nach links. Die Aufgabe startet, sobald das Fahrzeug die Pylonen durchfahren hat.

Jedes Mal, wenn Sie sich zur Querung vor dem Fahrzeug sicher fühlen, gehen Sie wie folgt vor:

- (1) Drücken Sie den Knopf.
- (2) Halten Sie den Knopf so lange gedrückt, wie Sie sich sicher fühlen.
- (3) Wenn Sie sich nicht mehr sicher fühlen, lassen Sie den Knopf los.“
- (4) Sobald Sie sich wieder sicher fühlen, drücken Sie den Knopf erneut.
- (5) Der Versuch endet, wenn das Fahrzeug Sie passiert hat (an Ihnen vorbeigefahren ist.)

Wiederholen, mind. bei den ersten beiden Durchfahrten und auf Anfrage des VP

**Startsignal VP geben:** „Jetzt kommt ein vollautomatisierter Pkw mit einer externen Anzeige.“

**Startsignal an Fahrer** (wenn eine Pause gewünscht ist; dann ein Signal (Handzeichen) an den Fahrer bei der Durchfahrt bzw. der Wiederholung mit Bremsung).



**Anmerkung an VL:**

- Das Experiment ist erst vorbei, wenn das Fahrzeug die VP vollständig passiert hat, d. h. in der Kondition „mit Bremsung“ ist das Experiment erst abgeschlossen, wenn das Fahrzeug wieder losgefahren ist. Die VP sollen also auch hier den Knopf wieder drücken.
- Um den Fahrer das Zählen der Runden zu erleichtern wird ein Schild mit der entsprechenden Runden-Nummer (Welche Runde kommt?) hochgehalten. Das Hochhalten der Schilder sollte unauffällig im Rücken der VP geschehen.

	<u>Korrekt?</u>	<u>Anmerkungen (Fahrverhalten / eMMS):</u>
1. Wiederholung: Fahrverhalten – mit Bremsung	<input type="radio"/>	
2. Wiederholung: Fahrverhalten – durchfahren	<input type="radio"/>	
3. Wiederholung: Fahrverhalten – mit Bremsung	<input type="radio"/>	
4. Wiederholung: Fahrverhalten – mit Bremsung	<input type="radio"/>	
5. Wiederholung: Fahrverhalten – durchfahren	<input type="radio"/>	
6. Wiederholung: Fahrverhalten – durchfahren	<input type="radio"/>	
7. Wiederholung: Fahrverhalten – durchfahren	<input type="radio"/>	
8. Wiederholung: Fahrverhalten – mit Bremsung	<input type="radio"/>	
9. Wiederholung: Fahrverhalten – mit Bremsung	<input type="radio"/>	
10. Wiederholung: Fahrverhalten – mit Bremsung	<input type="radio"/>	
11. Wiederholung: Fahrverhalten – mit Bremsung	<input type="radio"/>	
12. Wiederholung Fahrverhalten – mit Bremsung:	<input type="radio"/>	
13. Wiederholung: Fahrverhalten – durchfahren	<input type="radio"/>	
14. Wiederholung: Fahrverhalten – durchfahren	<input type="radio"/>	
15. Wiederholung: Fahrverhalten – mit Bremsung	<input type="radio"/>	
16. Wiederholung: Fahrverhalten – durchfahren	<input type="radio"/>	
17. Wiederholung: Fahrverhalten – durchfahren	<input type="radio"/>	
18. Wiederholung: Fahrverhalten – durchfahren	<input type="radio"/>	
19. Wiederholung: Fahrverhalten – mit Bremsung	<input type="radio"/>	
20. Wiederholung: Fahrverhalten – durchfahren	<input type="radio"/>	

## Mit VP in den Besprechungsraum gehen.

### Memory Test wiederholen:

Bilder zum Memory Test zeigen und Fragen stellen; **bei nicht korrekter Antwort neu aufklären.**

Bild 1: Welche Bedeutung hat das Lichtsignal auf diesem Bild? (Korrekt: Automationsstatus) Korrekt?  Neu aufklären?

Bild 2: Welche Bedeutung hat es, wenn das Lichtsignal an den Ecken des Lichtbandes aktiviert ist? (Korrekt: Ich wurde gesehen / detektiert). Korrekt?  Neu aufklären?

Bild 3: Welche Bedeutung hat es, wenn das Lichtsignal an den Ecken des Lichtbandes pulsiert bzw. auf- und ableuchtet? (Korrekt: Das Fahrzeug zeigt an, dass es stehen bleiben wird.) Korrekt?  Neu aufklären?

### Fragebogen von VP am Rechner ausfüllen lassen.

- Verknüpfung zum Fragebogen auf dem Desktop öffnen
- Seite 1 des Fragebogens: Versuchstag – **Option 1.2 auswählen**
- Seite 1 des Fragebogens: VP-Code vermerken

### Video-Experiment durchführen:

#### VP aufklären:

„Im nachfolgenden Teil des Experiments ändert sich Ihre Aufgabe. Ab jetzt drücken Sie einen Knopf, zu dem Zeitpunkt, an dem Sie eine Straße überqueren möchten. Alle weiteren Instruktionen bekommen Sie gleich auf dem Bildschirm. Bei Fragen stehe ich Ihnen zur Verfügung.“

Auf das Bild neben der Tastatur hinweisen.

#### Programm über Google Chrome starten.

- Ordner Video-Experiment auf dem Desktop öffnen.
- Ordner „**Gruppe B**“ öffnen
- Ordner „**Versuchstag 1**“ öffnen
- Datei „**Video-Experiment Tag1 B**“ im Browser „Google Chrome“ öffnen
- Bei Bedarf und zur Wiederholung des Testvideos: Verknüpfung „Video-Experiment Testvideo“ öffnen.

Bei Bedarf Hilfe anbieten.

Sicherstellen, dass die HTML-Datei gespeichert wurde.

### Interview 1 mit VP durchführen. Antwort aufzeichnen (Smartphone).

1. Würden Sie als Fußgänger/-in einem automatisierten Pkw mit externer Anzeige im Straßenverkehr vertrauen?
  - Rückfragen: Warum? Können Sie das bitte noch weiter ausführen?
2. Versetzen Sie sich bitte gedanklich in das Szenario der Querung einer zweispurigen Straße mit wenig Verkehr. Es kommt Ihnen ein Pkw entgegen. Würde es für Sie einen Unterschied machen, ob der Pkw vom einem Menschen gesteuert wird oder ein automatisierter Pkw mit externer Anzeige ist?
  - Rückfragen: Warum? Können Sie das bitte noch weiter ausführen?

### Verabschiedung.

## G Regressionsanalysen

Tabelle G-1: Regressionskoeffizienten des Vertrauens auf den BQS und des Misstrauens auf die minimale Lücke

Modell	Variable	B	SE	t	p	95 % KI
<i>Szenario: Pkw mit nachgebender („yielding“) Fahrstrategie</i>						
Vertrauen <sub>t0</sub> → BQS <sub>t1</sub> (*)	Konstante	0,57	0,12	4,888	< 0,001	[0,33; 0,81]
	Vertrauen <sub>t0</sub>	0,06	0,03	2,157	<b>0,039</b>	[0,00; 0,11]
Vertrauen <sub>t1</sub> → BQS <sub>t2</sub>	Konstante	0,62	0,12	5,137	< 0,001	[0,37; 0,87]
	Vertrauen <sub>t1</sub>	0,04	0,02	1,891	0,069	
Vertrauen <sub>t2</sub> → BQS <sub>t3</sub>	Die Prüfung der Arrayverteilung auf Normalverteilung mit gleicher Varianz ergibt die Verletzung der Annahmen der Homoskedastizität und Normalität (vgl. Bortz & Schuster, 2010), weshalb auf eine Berechnung des Modells der linearen Regression verzichtet wurde.					
Misstrauen <sub>t0</sub> → BQS <sub>t1</sub>	Konstante	0,93	0,11	8,439	< 0,001	[0,70; 1,15]
	Misstrauen <sub>t0</sub>	-0,03	0,03	-1,068	0,294	
Misstrauen <sub>t1</sub> → BQS <sub>t2</sub>	Die Prüfung der Arrayverteilung auf Normalverteilung mit gleicher Varianz ergibt die Verletzung der Annahmen der Homoskedastizität und Normalität (vgl. Bortz & Schuster, 2010), weshalb auf eine Berechnung des Modells der linearen Regression verzichtet wurde.					
Misstrauen <sub>t2</sub> → BQS <sub>t3</sub>	Konstante	0,90	0,06	14,060	< 0,001	[0,77; 1,03]
	Misstrauen <sub>t2</sub>	-0,01	0,02	-0,491	0,534	
<i>Szenario: Pkw mit nicht nachgebender („non-yielding“) Fahrstrategie</i>						
Vertrauen <sub>t0</sub> → mLücke <sub>t1</sub>	Konstante	25,99	4,86	5,346	< 0,001	[16,05; 35,93]
	Vertrauen <sub>t0</sub>	-1,20	1,13	-1,065	0,295	
Vertrauen <sub>t1</sub> → mLücke <sub>t2</sub>	Konstante	28,55	5,13	5,563	< 0,001	[18,05; 39,04]
	Vertrauen <sub>t1</sub>	-1,40	0,96	-1,451	0,157	
Vertrauen <sub>t2</sub> → mLücke <sub>t3</sub>	Konstante	23,29	5,92	3,937	< 0,001	[11,19; 35,38]
	Vertrauen <sub>t2</sub>	-0,51	1,09	-0,465	0,645	
Misstrauen <sub>t0</sub> → mLücke <sub>t1</sub>	Konstante	17,62	4,40	4,006	< 0,001	[8,62; 26,61]
	Misstrauen <sub>t0</sub>	0,96	1,25	0,765	0,450	
Misstrauen <sub>t1</sub> → mLücke <sub>t2</sub>	Konstante	19,85	2,99	6,640	< 0,001	[13,74; 25,97]
	Misstrauen <sub>t1</sub>	0,55	1,15	0,475	0,638	
Misstrauen <sub>t2</sub> → mLücke <sub>t3</sub>	Konstante	19,28	2,54	7,597	< 0,001	[14,08; 24,47]
	Misstrauen <sub>t2</sub>	0,49	0,92	0,537	0,596	

Anmerkungen. BQS = Bereitschaft zur Querung Score; mLücke = minimale Lücke; KI = Konfidenzintervall

(\*)  $F(1, 29) = 4,653$ ;  $p = 0,039$ ; korrigiertes  $R^2 = 0,11$

(N = 31)