

# Systemverstehen beim hochautomatisierten Fahren

## Dissertation

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Eberhard Karls Universität Tübingen

zur Erlangung des Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften

(Dr. rer. nat.)

vorgelegt von

Katja Genuit

geb. Blömacher

aus Bad Dürkheim

Tübingen

2019

Gedruckt mit Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der  
Eberhard Karls Universität Tübingen.

Tag der mündlichen Qualifikation:	11.12.2019
Dekan:	Prof. Dr. Wolfgang Rosenstiel
1. Berichterstatter:	PD Dr. Markus Huff
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. Stephan Schwan

In Gedenken an meinen Betreuer Gerhard Nöcker – Vielen herzlichen Dank für alles!

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich den Personen danken, die mich auf meinem Weg hin zur Dissertation begleitet und unterstützt haben.

Ich danke meinem Betreuer PD Dr. Markus Huff für seine Unterstützung, den fachlichen Austausch und die hilfreichen Diskussionen. Zudem möchte ich Gerhard Nöcker für seine mitreißende Motivation und seine aufbauenden Worte sowie seine selbstlose Unterstützung danken. Mein Dank gilt ebenso Dr. Eberhard Zeeb, Jochen Haab und Christoph von Hugo für Ihre Unterstützung in schwierigen Situationen.

Herrn Prof. Dr. Stephan Schwan möchte ich für seine offene und sehr hilfreiche Rückmeldung bezüglich meiner Arbeit und der wirklich angenehmen Unterstützung danken. Weiterer Dank geht an meine ehemaligen Kollegen Dr. Hanna Bellem, Dr. Kathrin Zeeb, Michael Feldmann, Sabrina Pohl, Dr. Malte Klüver, Dr. Jürgen Schmidt und Dr. Christian Braunagel sowie Max Kurtz für die zahlreichen Diskussionen und das gemeinsame Durchleben der Panikattacken. Ihr wart großartige Leidensgenossen und willkommene Diskussionspartner.

Ohne die technische Unterstützung des Fahrsimulators und der Softwarekollegen, wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Vielen Dank an euch alle und vor allem an Stephanie Preuß Dr. Desens und Dr. Thorben Schönenberg.

Meiner Familie danke ich für ihre Geduld und liebevollen Unterstützung. Vielen Dank Mama, für die Bewirtung während meiner „Einsperrphase“. Vielen Dank Papa, für deine Diskussionsbereitschaft, dein offenes Ohr und den Austausch in Sachen R.

Zu Letzt möchte ich meinem Verlobten Fabian Genuit danken. Danke, dass du immer für mich da bist, für deine Geduld und dein Verständnis meiner unterschiedlichsten Stimmungen sowie deine Bereitschaft mich mit dem Laptop zu teilen – das ist nun vorbei! Danke!

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Die Automation von Systemen schreitet immer weiter voran. Viele Studien beschäftigen sich mit der Messung von mentalen Modellen zu automatisierten Systemen auf Basis von Daten aus subjektiven Methoden. Die subjektiven Methoden erzeugen aufgrund der zeitlichen und inhaltlichen, dynamischen Entwicklung automatisierter Systeme keine langfristig vergleichbaren Ergebnisse über verschiedene Automationslevel und Versuchsaufbauten hinweg.

**Ziel:** Ziel dieser Arbeit war es, den Aufbau und die Aktualisierung mentaler Modelle des Fahrers hochautomatisierter Fahrzeuge zu messen, das Vertrauen in und die Akzeptanz von solchen Systemen in Beziehung zu setzen und mit Hilfe einer in diesem Kontext neuen, objektiven Methode den Einfluss von Systembeschreibungen auf mentale Modelle beim hochautomatisierten Fahren zu zeigen und zu evaluieren.

**Methode:** Es wurden drei Studien durchgeführt, in denen mentale Modelle mittels Systembeschreibungen manipuliert wurden. Die erste Studie fand in einer laborähnlichen Umgebung vor einem Laptop statt und die mentalen Modelle wurden mit Hilfe einer subjektiven Messmethode untersucht. Die zweite Studie fand in einem Fahrsimulator statt und es wurden zwei objektive Messmethoden verglichen. Die dritte Studie fand ebenfalls im Fahrsimulator statt und eine der objektiven Messmethoden aus Studie zwei wurde anhand einer größeren Stichprobe und längeren Fahrt evaluiert.

**Ergebnisse:** In Summe konnte die Manipulation mentaler Modelle über das Lesen von Systembeschreibungen repliziert werden (Beggiato & Krems, 2013) und eine objektive Messmethode zur Ableitung des Einflusses von Systembeschreibungen auf mentale Modelle während einer hochautomatisierten Fahrt gefunden werden. Der Einfluss mentaler Modelle auf das Vertrauen und die Akzeptanz in hochautomatisierte

Systeme war geringer als erwartet. Die Auswertung der objektiven Messungen mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren ergab, dass vor allem die Phase des Einschaltprozesses der Automation zu einer Anpassung des mentalen Modells führte. Dies hatte wiederum auf informationsverarbeitende Prozesse im Verlauf der Fahrt und während der Übernahme der Fahraufgabe durch den Fahrer (Übernahmephase) Einfluss. Dennoch war sowohl die subjektive Messmethode, als auch die objektive Messmethode im Stande die Entwicklung mentaler Modelle darzustellen.

**Fazit:** Eine objektive Messmethode steht den bisherigen subjektiven Messmethoden in der Sensibilität in nichts nach. Im Gegenteil, sie bietet eine weitaus genauere Auflösung der Einflüsse auf den Aufbau und die Aktualisierung mentaler Modelle (Studie 2 Experiment 2). Das Messen von Aufbau und Aktualisierung mentaler Modelle mit einer objektiven, verhaltensbasierten Methode ist vor allem aufgrund der langfristigen Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu empfehlen. Um die Einflüsse mentaler Modelle auf das Vertrauen und die Akzeptanz genauer zu betrachten, wird ein weiteres Experiment empfohlen, das im Realverkehr durchgeführt wird.

**Anwendung:** Mögliche Anwendung finden die Ergebnisse in der Entwicklung von objektiven Messmethoden mentaler Modelle automatisierter Fahrzeuge jeden Automationslevels und bei der Serienentwicklung von Fahrerassistenzsystemen. Zudem wird offensichtlich, dass der Fahrer zum korrekten Aufbau eines mentalen Modells, Informationen zu den Fahrzeugfunktionen und dessen Grenzen benötigt. Nur konkretes Wissen über die mentale Verarbeitung und Speicherung von Informationen während einer hochautomatisierten Fahrt, führt zu Hinweisen bezüglich einer optimal auf das hochautomatisierte Fahren abgestimmte instruktionale Maßnahme in Form von zum Beispiel Informationsmaterial für den Fahrer. Eine Kurzanleitung zu hochautomatisierten Systemen, Tutorials in Form von YouTube Videos oder Probefahrten können womöglich die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls aufgrund eines mentalen Modells das

nicht der Realität entspricht (inkorrektes Modell) verringern. Weiterführende Untersuchungen um dies zu klären, werden auf Grundlage dieser Ausarbeitung empfohlen.

## Abkürzungen

HAF	Hochautomatisiertes Fahren
TOR	Take Over Request (Fahrzeugübergabe)
*	Signifikanz, $p < .05$
**	Signifikanz, $p < .01$
***	Signifikanz, $p < .001$
lm	Linear Model
lme	Linear mixed effects model
M	Mittelwert
SD	Standardabweichung
SE	Standardfehler
ms	Millisekunden
S	Sekunden
SA	Situation Awareness (Situationsbewusstsein)
RT	Reaction time (Reaktionszeit)
PDT	Peripheral Detection Task
TDRT	Tactile Detection Response Task



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Drei-Ebenen-Modell für die zielgerichtete Tätigkeiten des Menschen nach Rasmussen (1983) und Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe nach Donges (1982a) nach Donges (2009b) .....	14
Abbildung 2: Multiple Ressourcenmodell nach Wickens (2002b). .....	21
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Beanspruchung bei erbrachter Leistung (DeWaard, 1996). .....	24
Abbildung 4: Modell „Situationsbewusstsein“ in dynamischen Entscheidungssituationen von Endsley (1995b). .....	43
Abbildung 5: Hier ist schematisch der Ort und die relative Größe der visuellen Stimuli auf dem Simulatorhorizont zu sehen. Die Anbringung der PDT in Studie 2 und 3 ist abgeleitet aus der Studie von Jahn et al. (2005). .....	53
Abbildung 6: Den Hypothesen unterliegendes Modell zum Einfluss von Systembeschreibungen auf den Aufbau und die Aktualisierung mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren. ....	58
Abbildung 7: Stimulusmaterial bestehend aus 5 Situationen: (A) Keine Übernahme, (B) Einschersituation, (C) fehlendes Führungsfahrzeug, (D) fehlende Spurmarkierung, und (E) Havariertes Fahrzeug in der eigenen Spur. ...	74
Abbildung 8: Schematische Darstellung des Versuchsablaufs.....	79
Abbildung 9: Anteil korrekter Antworten.....	81
Abbildung 10: Prozent korrekter Antworten in Abhängigkeit der SA Level und als Funktion aus Messzeitpunkt und Systembeschreibung. ....	82
Abbildung 11: Konfidenz in die eigene Antwort pro SA Level als Funktion der Systembeschreibung und des Messzeitpunktes. ....	84

---

Abbildung 12: Erlebte Situationen. A Situationen mit PDT. B Situationen mit TDRT. .....	105
Abbildung 13: Versuchsablauf. TOR wurde über die Messmethode hinweg variiert. Die Messmethode war entweder eine visuelle PDT oder eine taktile TDRT. Die Methode wurde über die Konditionen ausbalanciert. ....	111
Abbildung 14: Anteil korrekter Antworten über den Messzeitpunkt (vor und nach der Fahrt) für die korrekte und inkorrekte Bedingung. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler.....	112
Abbildung 15: Mittlere Konfidenz vor und nach dem Fahrerlebnis (rot: inkorrekte Systembeschreibung, blau: korrekte Systembeschreibung). Die Fehlerbalken zeigen den Standardfehler. ....	114
Abbildung 16: Mittlere RT gemessen über die visuelle Messmethode (PDT) und die taktile Messmethode (TDRT) abgetragen über den Messzeitpunkt und aufgeteilt nach Fahrphase für die Bedingungen mit korrekter und inkorrekt Systembeschreibung. Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar. ....	116
Abbildung 17: Erlebte Fahrsituationen und Grenzen des Systems. Der schwarze Balken im Bild stellt die PDT dar. ....	134
Abbildung 18: Versuchsablauf. TOR = takeover request, Wissen = Daten aus Fragebogen mentaler Modelle .....	137
Abbildung 19: Anteil korrekter Antworten über die Messzeitpunkte (vor vs. nach der Fahrt) für die Bedingungen mit verschiedenen Einschalt- und Übernahmebeschreibungen (korrekt vs. inkorrekt). Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar. ....	139
Abbildung 20: Mittlere Konfidenz. Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar.....	140

Abbildung 21: Mittelwert des Vertrauenswertes der Einschalt- und Übernahmesituationen. Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar.	141
Abbildung 22: Mittlerer Akzeptanz für die Einschalt- und Übernahmebeschreibung. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar.....	142
Abbildung 23: Mittlere RT für Einschalt- und Übernahmeprozess für Probanden mit korrekter und inkorrekt Systembeschreibung. Fehlerbalken beschreiben den Standardfehler.....	144
Abbildung 24: Anteil von Misses bei Einschalt- und Übernahmesituation und pro Systembeschreibung. Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar. ...	146

Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	II
Zusammenfassung .....	III
Abkürzungen .....	VI
Abbildungsverzeichnis .....	VII
Inhaltsverzeichnis .....	X
<b>1. Einleitung und Motivation</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Theoretische Einleitung</b> .....	<b>7</b>
2.1. Fahraufgabe .....	7
2.2. Wahrnehmung und Aufmerksamkeit .....	15
1.1.1. Wahrnehmung – Empfindung, Perzeption, Identifikation .....	16
1.1.2. Visuell .....	17
1.1.3. Taktil .....	18
2.3. Kognitive Informationsverarbeitungstheorien .....	19
2.4. Mentale Modelle .....	25
2.4.1. Eigenschaften Mentaler Modelle .....	26
2.4.2. Begrifflichkeit .....	31
2.4.3. Herausforderungen mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren .....	39
2.5. Situation Awareness - Situationsbewusstsein .....	41
2.5.1. Zusammenhang: SA und mentale Modelle .....	44
2.6. Messmethoden – Messung mentaler Modelle .....	46
2.7.1. Subjektive Messmethoden mentaler Modelle .....	46
2.7.2. Objektive Messmethoden mentaler Modelle .....	48
2.7.3. Messung von SA .....	56
<b>3. Bezug zur Arbeit und daraus abgeleitete Ziele</b> .....	<b>58</b>
<b>4. Studien</b> .....	<b>61</b>
4.1. Studie 1 .....	64
4.1.1. Zusammenfassung .....	64
4.1.2. Einleitung .....	66
4.1.3. Hypothesen und Forschungsfragen .....	70
4.1.4. <b>Material und Methoden</b> .....	72
4.1.5. Versuchsablauf .....	77
4.1.6. <b>Ergebnisse</b> .....	79
4.1.7. <b>Diskussion</b> .....	88
4.1.8. Methodische Implikationen und weitere Forschung .....	93
4.1.9. <b>Fazit</b> .....	96
4.2. Studie 2 .....	97
4.2.1. Zusammenfassender Überblick Studie 2 Experiment 1 und 2 .....	97
4.2.2. <b>Einleitung Studie 2</b> .....	98
4.3. Studie 2 Experiment 1 .....	102
4.3.1. Methode .....	104
4.3.2. Hypothesen und Forschungsfragen .....	108
4.3.3. Versuchsablauf .....	110
4.3.4. Ergebnisse .....	111

4.3.5. Diskussion.....	122
<b>4.4. Studie 2 Experiment 2.....</b>	<b>128</b>
4.4.1. Hypothesen und Forschungsfragen .....	131
4.4.2. Methode .....	132
4.4.3. Ergebnisse .....	137
4.4.4. Diskussion.....	147
<b>4.5. Generelle Diskussion – Studie 2 Experiment 1 und 2 .....</b>	<b>149</b>
4.6. Studie 2 Fazit .....	158
<b>5. Allgemeine Diskussion .....</b>	<b>160</b>
5.1. Wird auf Grundlage einer Systembeschreibung ein mentales Modell aufgebaut und angewendet?.....	162
5.2. Findet eine Anpassung des mentalen Modells auf Grundlage von (Fahr-) Erfahrung statt? .....	166
5.3. Kann Systemverstehen mit einer objektiven Methode gemessen werden? Welche objektive Methode eignet sich zur Messung von Systemverstehen? .....	171
5.4. Sind das Vertrauen und die Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen beeinflusst durch mentale Modelle und deren Änderungen über die Zeit? .....	177
5.5. Resumee .....	179
5.6. Applikation und Grenzen der Studien sowie Ansätze für weitere Studien	180
<b>6. Anhang .....</b>	<b>186</b>
A) Studie 1.....	186
1.A.1. Instruktionen .....	186
1.A.2. Fragebögen .....	191
B) Studie 2.....	207
1.B.1. Instruktionen .....	207
1.B.2. Fragebögen .....	217
C) Studie 3.....	234
1.C.1. Instruktionen .....	234
1.C.2. Fragebögen .....	260
References .....	269

## 1. Einleitung und Motivation

Vom Lenker zum Denker – Die Automatisierung von Fahrzeugen wird durch technische Innovationen immer weiter vorangetrieben. Bis spätestens zum Jahr 2020 werden bereits hochautomatisiert fahrende Fahrzeuge in Deutschland erwartet (Cacilo et al., 2015; Steven E. Underwood, 2015).

Der technische Fortschritt alleine ist jedoch nicht ausreichend für eine erhöhte Sicherheit und Zuverlässigkeit automatisierter Systeme (zum Beispiel hochautomatisierter Fahrzeuge). So ist der Fahrer bei hochautomatisierten Fahrzeugen gezwungen, im Falle einer technischen Grenze des Systems (Systemgrenze), die Fahrzeugführung zu übernehmen (Gasser et al., 2012). Bisher wichtige Handlungsmuster, die die Grundlagen der Fahrzeugführung waren (zum Beispiel Lenken, Beschleunigen, Abstand halten, Bremsen) werden nicht mehr permanent benötigt. Stattdessen müssen neue Handlungsmuster gelernt werden.

Der Nutzer automatisierter Funktionen wird mit Übernahmen vom technisch gesteuerten Fahrzeug hin zum manuell von ihm gesteuerten Fahrzeug eine sehr komplexe und häufig zeitkritische Aufgabe erfüllen müssen (Forster, Hergeth, Naujoks, Beggiato et al., 2019). Der Fahrer muss innerhalb kürzester Zeit das Fahrgeschehen erfassen, fahrrelevante Einflüsse wahrnehmen, verarbeiten, interpretieren und in Abgleich mit seinem mentalen Modell über die Systemfunktionen sowie seinen Zielen und Erwartungen, eine Wahl zur Reaktion treffen. Dazu müssen neue mentale Modelle zum Thema Fahrzeugführung etabliert oder alte Modelle upgedatet werden (Krems & Baumann, 2009). Die mit der Automation einhergehende passive Rolle des Fahrers in Form der Überwachung der Fahraufgabe führt zu einer reduzierten Aufmerksamkeit beziehungsweise Aktivierung, was massive Sicherheitsprobleme zur Konsequenz hat (Dismukes, Berman, & Loukopoulos, 2007).

Mediale Berichte (Guardian staff, 2014), die bereits in naher Zukunft fahrerlose Fahrzeuge versprechen, beeinflussen neben dem Aufbau korrekter mentaler Modelle auch die Erwartungen von Fahrern und können zu Fehleinschätzungen heutiger Systeme führen, die aktuell noch nicht ohne die Verfügbarkeit des Menschen auskommen (Cummins & Ryan, 2014). Dies kann sich auch auf das Vertrauen in und die Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen auswirken (Forster et al., 2017, Hergeth, Lorenz, & Krems, 2017).

Die Art und Weise wie Fahrerverhalten, Fahrerkognition und Fahreraufmerksamkeit gemessen wird oder bestimmt wird, ist durch die technische Entwicklung ebenfalls einem permanenten Wandel unterworfen. Die zuvor genutzten Metriken (zum Beispiel Abstand und Spurhaltung) werden beim hochautomatisierten Fahren vom Fahrzeug automatisiert und liefern somit kein valides Maß mehr für jegliches Fahrerverhalten und deren kognitiven Prozesse. Subjektive Messmethoden (zum Beispiel geschlossene Fragen eines Fragebogens, vergleiche Beggiano & Krems, 2013) können nicht unabhängig vom Automationsgrad genutzt werden. Werden Fragen für ein teilautomatisiertes System entworfen, so können diese nicht für ein hochautomatisiertes System verwendet werden, da sie zu spezifisch die Systeminhalte abfragen. Aufgrund des schnellen technischen Fortschritts muss auch das Material zur Datenerhebung mit Hilfe subjektiver Methoden stetig angepasst werden. Dies führt zu starken Beeinträchtigungen in der Vergleichbarkeit der Ergebnisse über verschiedene technische Entwicklungsstufen hinweg.

Trotz dieser methodischen Schwierigkeiten sich dem Thema zu nähern, sind sich viele Autoren darüber einig, dass der Lernprozess im Umgang mit der Automation unbedingt untersucht werden muss (zum Beispiel Victor et al., 2018, Forster, Naujoks, & Neukum, 2017, Richardson, 2019). Dass das Thema Lernen im Bereich der Automation eine wichtige Rolle spielt, hat bereits Brainbridge (1993) erwähnt. Aber auch

aktuellere Studien (zum Beispiel Endsley, 2017d; Forster, Hergeth, Naujoks, Krems, & Keinath, 2019; Pradhan, Pollatsek, Knodler, & Fisher, 2009) verweisen mit Druck auf die hohe Relevanz der Untersuchung von Lernprozessen und Hilfsmitteln zur Vermittlung von Wissen im Bereich automatisiertes Fahren. Dieser Druck wird durch die US-Bundesbehörde für Straßen- und Fahrzeugsicherheit NHTSA aufgegriffen und aktiv in Forderungen an die Industrie übersetzt, sich mit dem Thema Lernen im Umfeld hochautomatisierter Fahrzeuge auseinanderzusetzen (Policy, 2016). Mit Blick auf die Flugforschung wird deutlich, dass die Schulung von Nutzern automatisierter Systeme grundlegend ist und an Relevanz für den zukünftigen Verkehr nicht zu unterschätzen ist (Trösterer et al., 2017). Hierzu ist jedoch zu allererst ein adäquates Verständnis von den kognitiven Prozessen notwendig, die beim Lernen im Umgang und der Nutzung von hochautomatisierten Systemen stattfinden.

Die Forschung zu mentalen Modellen konzentriert sich auf das beobachtbare und beschreibbare Verhalten vor und nach dem Lernprozess (zum Beispiel Beggiato & Krems, 2013). Dadurch werden aus Sicht des Autors dieser Arbeit wichtige Aspekte des Informationsverarbeitungsprozesses der mentalen Modellbildung nicht mit in die Betrachtungen eingeschlossen. Diese erweiterte Betrachtung würde jedoch eine Betrachtung von Veränderungen mentaler Modelle zu verschiedenen Zeitpunkten des Aufbaus und der Erneuerung der mentalen Modelle im Rahmen eines Lernprozesses ermöglichen. Der Weg von einem anfänglichen, generischen Modell hin zum elaborierten Expertenmodell kann Hinweise auf instruktionale Maßnahmen zur Beschreibung hochautomatisierter Fahrfunktionen aufzeigen. Vor dem Hintergrund einer kleinschrittigen Betrachtung mentaler Modelle im Rahmen des hochautomatisierten Fahrens, wird in der folgenden Arbeit genauer und mit Hilfe von subjektiven und objektiven Messmethoden eingegangen.



Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Beitrag zum besseren Verständnis der Interaktion zwischen hochautomatisierten Systemen und dem Fahrer zu leisten. Besonderer Fokus wird dabei auf die Frage gelegt, welchen Einfluss eine Systembeschreibung auf das verbalisierbare (Daten aus subjektiven Messmethoden) und das nicht verbalisierbare Wissen (Daten aus objektiven Messmethoden; Reaktionszeitaufgabe) hat. Befunde zum Einfluss von Systemverstehen und die methodische Untersuchung sind bislang nur in Systemen mit geringerer Automatisierung bekannt und weisen auf eine hohe Relevanz für die Sicherheit der Fahrzeugführung auf den ersten Metern hin (Beggiato & Krems, 2013). Um die bislang mangelnde Vergleichbarkeit der Ergebnisse über die verschiedenen Automatisierungsstufen (Gasser et al., 2012) hinweg zu verbessern, ist eine objektive Methode erstrebenswert und wird deshalb in dieser Arbeit ebenfalls behandelt.

In den folgenden Abschnitten wird die theoretische Basis für die Untersuchung dieser Fragestellungen beschrieben. Zu Beginn wird auf die Automation und bereits vorhandene Fahrermodelle im Allgemeinen eingegangen. Es folgen verständnisrelevante Grundlagen und Befunde zu informationsverarbeitenden Prozessen beim Autofahren. Aufgrund des Paradigmenwechsels des Fahrers und der Fahraufgabe, folgt eine Darlegung bereits verwendeter und alternativer Mess- und Erhebungsmethoden im Bereich Fahrerverhaltensdaten. Weiter werden Definitionen und Befunde zu den Punkten Vertrauen und Akzeptanz aufgeführt.

## 2. Theoretische Einleitung

Das Automatisieren von Funktionen und Abläufen findet in verschiedenen technischen Bereichen statt (zum Beispiel im Bahn-, Flug- und Autoverkehr, oder im Maschinen- und Werkzeugbau). Das automatisierte Fahren unterscheidet sich vom automatisierten Fliegen vor allem durch Anzahl und Art der Umgebungsreize (zum Beispiel: Häuser, andere Fahrzeuge, Fußgänger, Verkehrszeichen, Fahrzeuginformationen). Zu dieser Menge an Umgebungsreizen und der damit verbundenen Komplexität kommt beim Autofahren eine erhöhte Fortbewegungsgeschwindigkeit hinzu, die der Mensch beim Laufen zum Beispiel nicht erlebt. Diese erfordern eine erhöhte Wahrnehmungs-, Verarbeitungs- und Entscheidungsgeschwindigkeit. Diese und weitere moderierende Faktoren wie Systemverstehen, Vertrauen und Akzeptanz des Protagonisten, machen den Prozess des Autofahrens aus kognitionspsychologischer Sicht zu einer spannenden, interdisziplinär zu untersuchenden Aufgabe.

In den nun folgenden Abschnitten werden die zentralen Bestandteile des Autofahrens sowie eine Abgrenzung zu den Automationsleveln (SAE International, 2014) und der mit der höheren Automation verbundenen Änderung der Informationsverarbeitungsprozesse für den Fahrer beschrieben.

### 2.1. Fahraufgabe

Zu Beginn der Automatisierung von Fahrfunktionen standen Systeme im Vordergrund, die ohne den Fahrer mit einzubeziehen, kurzfristige korrigierende Eingriffe in kritischen Situationen machten, zum Beispiel Antiblockiersystem (ABS), Antischlupfregelung (ASR) oder Elektronische Stabilitätsprogramme (ESP). Mittlerweile ist der Prozess der Automatisierung von Fahrfunktionen so weit vorangeschritten, dass die Automation als weiterer Agent in die Fahrer – Fahrzeug - Umwelt Beziehung aufgenommen werden sollte.

Die Automatisierung von Fahrfunktionen ist jedoch ein breites Gebiet, in dem neben technischen Hürden und Herausforderungen die menschliche Wahrnehmung und das menschliche Fahrverhalten ebenso wichtig sind wie rechtliche Aspekte. So stellt sich zum Beispiel die Frage, wann hochautomatisiert gefahren werden darf und der Fahrer sich auch Nebentätigkeiten beim Fahren zuwenden kann. Ebenso ist noch zu klären, in welchem Rahmen und welche Nebentätigkeiten überhaupt erlaubt werden sollten? Darf der Fahrer Videos schauen oder die Zeitung lesen? Etwas in die Hand nehmen? Ab wann wäre ein Rückschritt in der Verkehrssicherheit zu erwarten? Denn dies ist nicht das Ziel einer Automatisierung der Fahraufgabe, im Gegenteil es wird durch das automatisierte Fahren auch ein Zugewinn an Sicherheit erwartet.

Die Klassifizierung automatisierter Fahrfunktionen durchlief in den letzten Jahren auf der Grundlage dieser zu berücksichtigenden Faktoren viele Stufen. Krems and Vollrath (2011) geben einen Überblick über verschiedene Definitionsansätze und beziehen sich auf die Arbeit zu einem Stufenkonzept von Sheridan and Verplank (1987). Die erste häufiger zitierte Klassifizierung automatisierter Fahrfunktionen unter Berücksichtigung verschiedener Automationsgrade, wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAsT) definiert (Gasser et al., 2012).

- (0) Ohne automatisierte Unterstützung übernimmt der Fahrer während der gesamten Fahrt Längs- (Beschleunigen/Verzögern) und Querführungsaufgaben (Lenken) und ist in alleiniger Verantwortung für die Fahrzeugführung. Somit können auf dieser Ebene rein informierende oder warnende Systeme aktiv sein (zum Beispiel Totwinkel- oder Müdigkeitswarner).
- (1) Das assistierte Fahren ist durch eine dauerhafte automatisierte Quer- oder Längsführung des Fahrzeuges definiert. Das System übernimmt somit in gewissen Grenzen die jeweils andere Teilaufgabe. Der Fahrer muss auf dieser Auto-

mationsebene das System dauerhaft überwachen und jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahraufgabe bereit sein. Das System Adaptive Cruise Control (ACC) ist ein bekanntes System mit diesem definierten Automatisierungsgrad.

- (2) Teilautomatisierte Fahrzeuge übernehmen für einen gewissen Zeitraum und/oder in spezifischen Situationen die Quer- und Längsführung. Auch hier gilt wieder, dass der Fahrer dauerhaft überwachen und jeder Zeit eingriffsbereit sein muss. Diese Automatisierungsebene wird bereits von Systemen wie dem aus der Kombination aus ACC und aktiver Spurhalteassistent verwendet.
- (3) Hochautomatisierte Fahrfunktionen übernehmen die Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Situationen und der Fahrer muss nicht mehr dauerhaft überwachen. Er wird bei Bedarf mit ausreichender Zeitreise zur Übernahme der Fahraufgabe aufgefordert. Das Fahrzeug ist zwar nicht in der Lage, aus jeder Ausgangssituation den risikominimalen Zustand herbeizuführen, erkennt jedoch alle Systemgrenzen.
- (4) Vollautomatisierte Fahrzeuge stellen nach der BASt Definition die höchste Automation dar. Hierbei übernimmt das Fahrzeug die Quer- und Längsführung vollständig in einem definierten Anwendungsfall, indem der Fahrer das Fahrzeug nicht weiter überwachen muss und rechtzeitig zur Übernahme aufgefordert wird. Ein risikominimaler Systemzustand (zum Beispiel: auf dem Standstreifen stehendes Fahrzeug) gilt als Rückfallebene, falls der Fahrer die Fahraufgabe nicht übernimmt. Die letzte Automationsebene der BASt soll im Stande sein, alle Systemgrenzen zu erkennen und fähig, bei Bedarf in allen Situationen in den risikominimalen Systemzustand zu gelangen.

Eine weitere, international gängige Definition der verschiedenen Automationsgrade des Fahrzeuges, stammt von der Society of Automotive Engineers (SAE International, 2014). Beide Definitionen überschneiden sich in einigen Aspekten.

Innerhalb der ersten drei definierten SAE Level überwacht der Fahrer das Fahrgeschehen.

- (0) Keine Automation: Der Fahrer übernimmt die gesamte Fahrzeugführung mit allen dynamischen Aspekten der Fahrumgebung.
- (1) Fahrerassistenz: Der Fahrer wird bei seinen Fahraufgaben zur Längs- oder Querführung durch die Assistenz unterstützt und übernimmt so weiterhin die Führung bei der Fahrzeugführung mit allen dynamischen Aspekten der Fahrumgebung.
- (2) Teilweise automatisiert: Der Fahrer wird bei seinen Fahraufgaben zur Fahrzeugstabilisierung (Längs- und Querführung) durch die Assistenz unterstützt und übernimmt weiterhin die Führung bei der Fahrzeugführung mit allen dynamischen Aspekten der Fahrumgebung.

Innerhalb der letzten drei definierten SAE Level überwacht das Fahrzeug („System“) das Fahrgeschehen.

- (3) Bedingte Automatisierung: Das Fahrzeug übernimmt die Führung bei der Fahrzeugführung in allen dynamischen Aspekten der Fahrumgebung mit der Ausnahme, dass der Fahrer angemessen auf eine Übernahmeaufforderung reagiert.
- (4) Hochautomatisiert: Das Fahrzeug übernimmt die Führung bei der Fahrzeugführung in allen dynamischen Aspekten der Fahrumgebung, selbst wenn der Fahrer nicht angemessen auf eine Übernahmeaufforderung reagiert.

(5) Vollautomatisiert: Die Vollautomation beschreibt eine Vollzeit Fahrzeugführung durch das System mit allen dynamischen Aspekten der Fahrumgebung und unter allen straßenbaulichen Gegebenheiten, die ein menschlicher Fahrer meistern kann.

Bekannte Level 2 Systeme, wie der W222 (Mercedes-Benz S Klasse von 2013) oder der Tesla Model S, unterstützen den Fahrer mit der aktuell höchsten vom Fahrer noch überwachten Automation. Höher automatisierte Fahrzeuge (Level 3 und höher) hingegen, befinden sich noch in der Entwicklung und sollen entsprechend einer Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie bis zum Jahr 2020 erwartet werden (Cacilo et al., 2015). Zwar werden die ersten hochautomatisierten Fahrzeuge voraussichtlich primär auf Autobahnen und somit in reizärmeren Umgebungen (Edquist, 2009) fahren, dennoch wird der menschliche Fahrer stets in der Lage sein müssen, als Rückfallebene die Kontrolle über das Fahrgeschehen übernehmen zu können. Somit muss der Fahrer ein Expertenwissen aufbauen und dies adäquat in jeder Situation und unbeeinflusst durch externe Faktoren anwenden können. Dadurch wird der Prozess der Fahrerübernahme ein sicherheitskritischer Aspekt bei der Fahrzeugführung hochautomatisierter Fahrzeuge. Es muss sichergestellt werden, dass der Fahrer die Fahrzeugführung adäquat übernehmen kann und jeder Zeit weiß, wie und wann sein System funktioniert beziehungsweise reagiert.

Die Automation als Erweiterung der Fahrer – Fahrzeug – Umwelt Beziehung, würde die Struktur der Fahraufgabe nachhaltig ändern. Es gibt viel Literatur, in denen Modelle ausgearbeitet wurden, die die Fahraufgabe an sich beschreiben oder aber auch eine teilautomatisierte Funktion wie das ACC berücksichtigen (Boer & Hoedemaeker, 1998). Jedoch gibt es bislang nur wenig Literatur, die sich mit den kognitiven Mechanismen und mentalen Modellen des Fahrers eines hochautomatisierten Fahrzeuges

auseinandersetzt. Das ist nicht überraschend, da die Entwicklung eines akkuraten mentalen Modells einer solch dynamischen Umgebung, wie es die Fahrumgebung ist, sehr schwierig ist. Diese hochdynamische Umgebung bietet viele Variablen und Interaktionen, die in solchen Modellen berücksichtigt werden müssen (Matthews, Zeidner, & Roberts, 2004).

Bereits existierende Versuche, ein Mensch-Fahrzeug-Umwelt Modell zu entwickeln, werden im Weiteren unabhängig von der Automation aufgeführt. Da nicht nur die technische Weiterentwicklung die Fahrzeugführung hochautomatisierter Fahrzeuge maßgeblich beeinflussen wird, sondern auch und vor allem das Verständnis des Zusammenspiels von Fahrzeug, Umwelt und Fahrer, ist neben der Klassifizierung der Aufgabe der technischen Fahrzeugführung auch eine Klassifizierung der menschlichen Fahrzeugführung notwendig.

Rasmussen entwarf 1983 ein allgemein an menschlicher Arbeit orientiertes Modell, welches helfen soll, menschliches Verhalten in komplexen System zu beschreiben. Dabei unterschied er drei Ebenen: die Ebene des fertigkeitsbasierten Verhaltens (skill-based), des regelbasierten Verhaltens (rule-based) und des wissensbasierten Verhaltens (knowledge-based). Wissensbasiertes Verhalten wird in komplexen Anforderungssituationen gefordert. Der Fahrer muss unter Zuhilfenahme seines Wissens, verschiedene Szenarien mental durchspielen, sie auf ihre Anwendbarkeit in dieser spezifischen Situation prüfen und gegebenenfalls als Regel für zukünftige, ähnliche Situationen speichern. Schlussendlich soll das Ergebnis über eine Reaktion umgesetzt werden. Das regelbasierte Verhalten wird bei ähnlichen Situationen gezeigt. Jedoch sind die Situationen, die über das regelbasierte Verhalten gesteuert werden, bereits bekannt und somit bereits erlebt worden. Der Fahrer verfügt in solchen Situationen über ein Repertoire von bereits gespeicherten Regeln. Diese Erfahrung unterstützt ihn bei der Entscheidung, welche der möglichen Reaktionen die passende wäre. Die wohl

zeitlich effektivste Art menschlichen Verhaltens spielt sich laut Rasmussen (1983) auf der fertigkeitbasierten Ebene seines Drei-Ebenen-Modells ab. Hier folgt auf einen Reiz direkt eine Reaktion. Diese unmittelbare Reiz-Reaktion Verbindung kann nur entstehen, wenn zuvor ein Lernprozess für diese Konstellation stattgefunden hat und ein Verhalten als Konsequenz auf einen Reiz nicht weiter hinterfragt, sondern unbewusst und selbstständig ausgeführt werden kann.

Donges (1982a; 2009b) kombinierte diesen psychologischen, theoretischen Rahmen mit einer ingenieurstechnischen Sicht (siehe Abbildung 1). Das auf diese Weise entstandene „drei Ebenen Hierarchie Modell“ von Donges (1982a; 2009b), berücksichtigt sowohl den Fahrer, als auch das Fahrzeug und die Umwelt. Zum Beispiel beinhaltet die Navigationsaufgabe die Wahl, eine passende Fahrroute aus einer Vielzahl an möglichen Fahrrouten unter Berücksichtigung der Reisezeit zu wählen. Eine plötzliche Routenänderung aufgrund von unvorhersehbaren Zwischenfällen (zum Beispiel: Stau, Unfall, et cetera) gehört ebenfalls zu der Navigationsaufgabe. Handelt es sich um eine unbekannte Fahrroute, ist ein höherer Planungsaufwand unter Berücksichtigung von Wissen notwendig und kann daher der Ebene „Wissensbasiertes Verhalten“ zugeschrieben werden (siehe Abbildung 1). Neben dieser von Donges (1982a; 2009b) genannten Navigationsebene beschreibt er noch die Führungsebene und die Stabilisierungsebene. Die Führungsebene beinhaltet Aufgaben, die eine sichere Ankunft am Zielort zum Ziel haben, zum Beispiel Abstands- und Geschwindigkeitsanpassungen an die momentane Verkehrslage sowie ein frühzeitiges Einschreiten bei möglichen Problemen. Diese, auf Verhaltensregeln basierenden Handlungen, sind der regelbasierten Handlungsebene von Rasmussen (1983) zuzuordnen (siehe Abbildung 1). Die Stabilisierungsebene beinhaltet Aufgaben, die mögliche Abweichungen so kompensiert, dass sie mit einem akzeptablen Aufwand, zum Beispiel einer motorischen Aktion, ausführbar sind und überwacht somit korrigierende Eingriffe des Fahrers





etwa 7 Jahre beziehungsweise 100000 km Fahrleistung bis der Lernvorgang für das fertigkeitbasierte Verhalten als abgeschlossen angesehen werden kann. Diese Übung dauert bei hochautomatisierten Fahrzeugen aufgrund der Singularität von Übernahmesituationen entsprechend länger.

Der Wechsel zwischen den beiden Agenten ‚automatisierte Fahrfunktion‘ und ‚Fahrer‘ wird Transition genannt. Der englische Ausdruck Transition wird in der Literatur häufig als Synonym für handover, handoff und take-over genutzt. Transition beschreibt entweder die Aktivierung oder Deaktivierung einer automatisierten Fahrfunktion (Gold, Damböck, Lorenz, & Bengler, 2013), einen Wechsel in dem Automationslevel (Merat, Jamson, Lai, Daly, & Carsten, 2014), einen Wechsel in der Verantwortung (Saffarian, de Winter, J. C. F., & Happee, 2012) oder die Zeit zwischen zwei Fahrzeugzustände (Flemisch et al., 2011). Der Begriff kann zudem in eine vom System initiierte Transition und in eine vom Fahrer initiierte Transition unterteilt werden. Eine vom System initiierte Transition kann zum Beispiel aufgrund eines Automationsfehlers oder einer Systemgrenze erreicht werden (Saffarian et al., 2012). Der Fahrer hingegen kann jederzeit eine Transition herbeiführen (zum Beispiel, weil er selbstständig fahren möchte oder eine Routenänderung vornimmt).

### 2.2. Wahrnehmung und Aufmerksamkeit

Die Fahraufgabe verschiedener Automationslevel und Verhaltensebenen basiert auf grundlegenden Prozessen der Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Informationsverarbeitung.

Lamme (2000) beschreibt, dass das Sortieren und Verarbeiten von sensorischem Input für die Aufmerksamkeit ein grundlegender Prozess ist. Dies gilt auch für die Fahraufgabe.

„Attention is selection.[...] It is best described as a set of mechanisms that enable the better routing of sensory inputs towards the executive systems of the brain“ (Lamme, 2000, S. 399).

In den folgenden Abschnitten wird auf die grundlegenden Theorien eingegangen, auf denen die Empirie höherer Automation aufbaut.

### 1.1.1. Wahrnehmung – Empfindung, Perzeption, Identifikation

Um die Welt wahr zu nehmen, benötigen Menschen einen physikalischen Reiz. Dieser Reiz muss empfunden und verarbeitet werden, um eine ungelernete Reaktion auslösen zu können. Der hier startende Informationsverarbeitungsprozess beinhaltet eine Kombination von Prozessen im Bereich der Wahrnehmung.

Empfindung entsteht, wenn ein sensorischer Rezeptor stimuliert wird und in Folge dessen einen neurologischen Impuls zum Gehirn schickt. Wahrnehmungsprozesse geben diesen physikalischen Reizen, die Menschen zum Beispiel über ihre Augen (visuell), ihre Ohren (auditiv, kinästhetisch) oder Haut (taktile) aufnehmen, eine Bedeutung (perzeptueller Prozess). Perzeptuelle Prozesse liefern Schätzungen über den Einfluss von Empfindungen (zum Beispiel bezüglich der Größe oder der räumlichen Zuordnung eines Objektes innerhalb einer bestimmten Umgebung). Diese Schätzungen basieren auf einer Kombination aus Vorwissen, Sinneseindrücken und dem Wahrnehmungskontext. Die Wahrnehmung integriert und kombiniert sensorische Merkmale (zum Beispiel Farbe, Größe, Abstand) zu einem Perzept eines Objektes, das später identifiziert und wiedererkannt werden kann. Das Zusammenspiel von Wahrnehmungs- und Informationsverarbeitungsprozessen ermöglicht dem Menschen, die wahrgenommenen Umweltreize zu interpretieren, auf neue und alte Situationen adäquat zu reagieren und zukünftige Situationen vorherzusagen.

Auf der Ebene der perzeptuellen Prozesse findet die Kombination aus Top-Down und Bottom-Up Prozessen statt. Das sind Prozesse der reizgesteuerten Verarbeitung. Eine reizgesteuerte Verarbeitung von Informationen nutzt vorhandene physikalische Reizmerkmale auf Grundlage von anderen kognitiven oder wissensbasierten Integrationsprozessen. Im zweiten Schritt bedient sich die Informationsverarbeitung auch Top-Down Prozessen. Das sind konzeptgesteuerte Wahrnehmungsprozesse, die durch mentale Verarbeitungsprozesse der Lernerfahrung (zum Beispiel Vorwissen, Erwartungen, Kontext) oder durch Willensakte (zum Beispiel Entscheidungen) und nicht ausschließlich von aktuell vorhandenen physikalischen Reizmerkmalen beeinflusst werden (Goldstein & Irtel, 2007). Die Kombination von Top-Down und Bottom-Up Prozessen hat zur Folge, dass den Empfindungen mit Hilfe von Vorwissen erste Bedeutung zugewiesen werden kann. Das Erkennen, in welcher Situation sich die Person gerade befindet und die Einordnung in den Kontext der Umgebung (perzeptuelle Prozesse) ist die Grundlage für die Anwendung von mentalen Modellen. Diese Arbeit hat ihren Schwerpunkt auf der visuellen und taktilen Wahrnehmung, folglich wird im weiteren Abschnitt auf diese beiden Wahrnehmungssensoren näher eingegangen.

### 1.1.2. Visuell

Die Wahrnehmung eines visuellen Reizes beginnt wenn ein Licht zwischen 400 und 700 nm Wellenlänge auf das Auge trifft. Hier fällt es über die Cornea (Hornhaut) des Auges, die Pupille, die Linse und den Glaskörper auf die Netzhaut (Retina). Auf der Netzhaut werden die Lichtwellen in elektrische Erregungen umgewandelt (Transduktion) und über den Sehnerv (Nervus opticus) direkt zum Gehirn weitergeleitet. Daraufhin sind am Wahrnehmungsprozess weitere Gehirnareale beteiligt um unter anderem das Geschehene zu interpretieren (Müsseler & Rieger, 2017).

Jonides (1981) fand heraus, dass die Reaktionszeit (Reaction time; RT) auf visuelle, peripher präsentierte Reize kürzer war, als auf visuelle, zentral präsentierte Reize. Zudem berichteten die Autoren, dass das Ignorieren der peripheren Reize schwieriger war, als das der zentral präsentierten Reize. Die RT peripher präsentierter Reize waren zudem weniger von einer gleichzeitigen Belastung des Arbeitsgedächtnisses und von Erwartungen des Probanden beeinflusst (Jahn, Oehme, Krems, & Gelau, 2005).

Aus diesem Grund wurde im Verlauf dieser Arbeit, auf eine visuelle Zweitaufgabe (Erklärung Zweitaufgabe siehe Abschnitt Objektive Messmethoden mentaler Modelle, S.48) zurückgegriffen. Mit Hilfe dieser visuellen Zweitaufgabe wurden visuelle, periphere Reize dem Autofahrer präsentiert. Ziel war die objektive Messung des Einflusses mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren.

### 1.1.3. Taktile

Während die visuelle Wahrnehmung nur über die Augen geschieht, können taktile Reize überall am Körper über Mechanorezeptoren wahrgenommen werden (Mather, 2011). Allerdings ist die Intensität der Empfindung von taktilen Reizen abhängig von der stimulierten Region am Körper, da auch die Anzahl und Art der Mechanorezeptoren sowie die kortikale Repräsentation je nach Körperregion variiert (Békésy, 1957). Während die Mechanorezeptoren bereits Vibrationsreize oberhalb 0.4 Hz wahrnehmen können (Bolanowski, Gescheider, Verrillo, & Checosky, 1988; Gescheider, Bolanowski, & Verrillo, 2004; Jones & Sarter, 2008), liegt die optimale Frequenz für Vibrationsreize in den meisten Körperregionen zwischen 150 und 300Hz (Jones & Sarter, 2008). Für die Vibrationsreize findet ebenfalls eine Transduktion im Sinne einer Über-

setzung von physikalischen Reizen in elektrische Signale statt, die dann über Nervenbahnen (spinal cord) weiter zum somatosensorischen Kortex geleitet werden (Hsiao & Yau, 2008; Purves et al., 2001).

Untersuchungen zur Informationsweiterleitung auf Grundlage von taktilen Reizen führten unter anderem zu Ergebnissen, die bei einer taktilen Detektionsaufgabe zu schnelleren RT führten im Vergleich zu einer visuellen Detektionsaufgabe (Ng & Chan, 2012). Hanson, Whitaker, and Heron (2009) argumentierten, dass taktile Reize vermutlich automatisch verarbeitet werden würden. Darüber hinaus konnten Ho and Spence (2017) zeigen, dass taktile Stimuli in der Lage sind, visuelle Aufmerksamkeit in Fahrsituationen zu erzeugen. Spence and Ho (2008) weisen auf eine Vielzahl von Vorteilen taktiler Stimuli beim Autofahren hin (zum Beispiel müde Autofahrer aufwecken, Aufmerksamkeit von abgelenkten Fahrern auf die Fahraufgabe lenken).

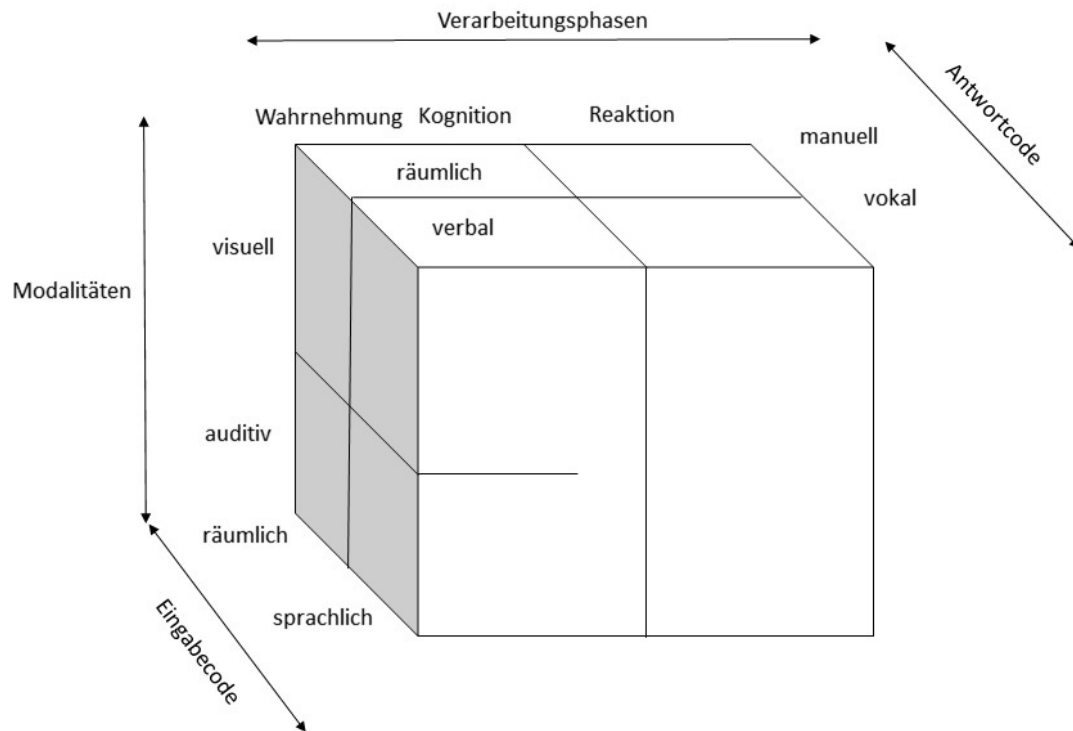
Da bei der Verwendung einer taktilen Zweitaufgabe zur Messung des Einflusses verschiedener mentaler Modelle auf das hochautomatisierte Fahren, die visuelle Ressource frei für die Fahraufgabe wäre, wird im Verlauf dieser Arbeit auch auf eine taktile Zweitaufgabe zurückgegriffen (vergleiche Studie 2 Experiment 1 und Studie 2 Experiment 2). Die Nutzung einer weiteren Ressource, würde die zum Fahren genutzte visuelle Ressource schonen. Auf diese Weise könnte eine Überlastung der visuellen Ressource vermieden werden. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war es herauszufinden, ob eine der beiden Zweitaufgaben sensitiv genug auf dem jeweiligen Sinneskanal messen kann, um Unterschiede zwischen unterschiedlichen mentalen Modellen zu messen.

### 2.3. Kognitive Informationsverarbeitungstheorien

Der Informationsverarbeitungsprozess greift auf Grundlage dieser visuellen oder taktilen, sensorischen Informationsverarbeitung auf Bottom-Up Prozesse zurück. Auch die

Fahraufgabe basiert auf diesen den Informationsverarbeitungsprozess beschreibenden Hauptmerkmalen der Top-Down und Bottom-Up Verarbeitung (Corbetta & Shulman, 2002; Egeth & Yantis, 1997). So gründet die Fahraufgabe größtenteils auf visuell erworbenen Informationen (Wierwille et al., 1996; Sivak, 1996). Hinzu kommen weitere, sensorische Eindrücke (zum Beispiel kinästhetische zur Fahrzeugstabilisierung, siehe auch Modell von Donges (2009b) und DeWaard (1996) weiter unten), die vom Fahrer kontrolliert, gefiltert und weiterverarbeitet werden müssen. Bei Top-down gesteuerten Prozessen wirken individuelle Erwartungen, Ziele und das eigene Wissen auf die Aufmerksamkeits- und Informationsselektion. Bei Bottom-Up Prozessen lenken reizgesteuerte und willkürliche Impulse die Aufmerksamkeit und Informationsselektion (Wickens, Goh, Helleberg, Horrey, & Talleur, 2003). Da der Informationsverarbeitung stets eine Informationsselektion vorausgeht, verwundert es kaum, dass sie auf dem Konzept der limitierten kognitiven Prozesskapazität aufbaut (zum Beispiel Broadbent, 1958; Kahneman, 1973; Wickens, 1984). Dabei unterscheiden sich die unterschiedlichen Ansätze der Konzepte zur limitierten, kognitiven Prozessqualität. Während Kahneman (1973) von einer seriellen Verarbeitung ausging, entwickelte Wickens (1984) ein Konzept, das auf einer Idee multipler und zum Teil parallel ablaufender kognitiver Prozesse bei der Informationsverarbeitung aufbaut. Wickens (1984) definierte im Zusammenhang seines multiplen Ressourcenmodells zwei wesentliche Begriffe: Kapazität und Ressource. Kapazität definierte er als ein Maximum oder ein oberes Limit an Prozesskapazität. Der Begriff Ressource hingegen steht für den mentalen Aufwand, der benötigt wird, um mentale Prozesse zu verbessern. Somit baut Wickens (1984) mit seinem multiplen Modell der Informationsverarbeitung auf den Modellen zur einfachen Ressourcentheorie auf (single resource theory; Kahneman, 1973; Norman & Borrow, 1975). Allerdings erweitert er diese Ideen um eine Reihe an Prozessschritten oder mentalen Operationen, die die Verarbeitung von

ständig einströmenden Informationen beschreiben: Empfindung, Übersetzen von Informationen jeglicher Art und die Aktionsauswahl.



**Abbildung 2:** Multiple Ressourcenmodell nach Wickens (2002b).

Wickens (1984; 2002b) geht nicht mehr nur von einer Kapazität aus, die dem Fahrer zur Verfügung steht, sondern von multiplen Ressourcen, die in einem parallel ablaufenden Informationsverarbeitungsprozess genutzt werden können. Sein Modell unterscheidet vier unabhängige Dimensionen denen separate Ressourcen zugeteilt werden (siehe Abbildung 2):

- (1) Verarbeitungsphasen (Enkodierung/Kognition, zentrale Verarbeitung/Wahrnehmung, Reaktion)
- (2) Modalität der wahrgenommenen Informationen (auditiv, visuell)
- (3) die Kodierung der wahrgenommenen Informationen (räumlich, sprachlich)
- (4) die Art der erforderlichen Reaktion (motorisch/manuell, vokal/sprachlich)



Aufgrund der Annahme, die Ressourcen seien begrenzt (Wickens, 2002b), ist die Diskrepanz zwischen zwei Aufgaben, die die gleiche Ressource nutzen, höher als bei Aufgaben, die unterschiedliche Ressourcen nutzen (Wickens, 2002b). Wenn also das Autofahren, das eine primär visuelle Aufgabe ist (Wierwille et al., 1996; Sivak, 1996), mit einer zweiten visuellen Aufgabe gleichzeitig ausgeführt werden soll (zum Beispiel Video schauen), so wird es zu höheren Leistungseinbußen kommen, als würde das Autofahren mit einer zweiten, nicht visuellen Aufgabe (zum Beispiel Radio hören) gleichzeitig ausgeführt werden müssen. In diesem Zusammenhang wird häufig von Workload (Beanspruchung) gesprochen.

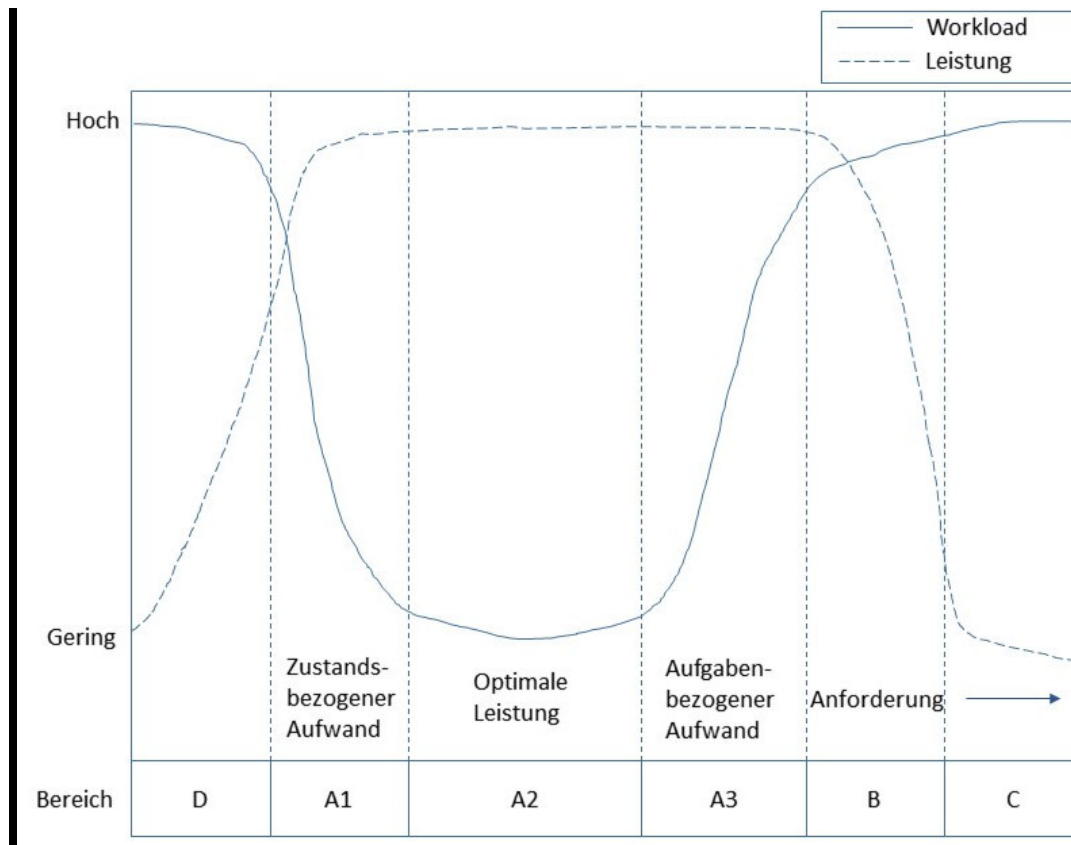
Somit entwickelte sich die Forschung zu Aufmerksamkeitstheorien von den Filtertheorien ganz zu Beginn (zum Beispiel Broadbent, 1958) über die „single pool“ Ressourcentheorie von Kahneman (1973) hin zu dem multiplen Ressourcenmodell von Wickens (2002b). Die Grundidee der Theorien blieb im Kern die Gleiche: die Ressourcen sind begrenzt, so dass die parallele Bearbeitung von mehr als einer Aufgabe zu einer Ressourcenlimitierung führt. In diesem Zusammenhang wird häufig mit dem Konzept der Beanspruchung weiter argumentiert.

Zwar wurde das Konzept kognitiver Beanspruchung seit den 1980ern häufiger in Argumentationen herangezogen, jedoch gibt es keine einheitliche, trennscharfe Definition (Young, Brookhuis, Wickens, & Hancock, 2015). Dies hat zur Folge, dass Beanspruchung, mentale Beanspruchung und kognitive Beanspruchung häufig als Synonyme verwendet werden. Wickens (2002c) beschreibt Beanspruchung als das Verhältnis zwischen den durch eine bestimmte Aufgabe beanspruchten und den zu Verfügung stehenden Ressourcen. Er weist darauf hin, dass Beanspruchung von mehreren Faktoren (zum Beispiel Aufgabenschwierigkeit, Umweltfaktoren und Fähigkeiten des Fahrers) abhängt (Hart & Staveland, 1988). Parasuraman and Caggiano (2002) definierten

mentale Beanspruchung als die Summe verschiedener mentaler Zustände, die die Leistung perzeptueller, kognitiver und motorischer Fähigkeiten bestimmt. DeWaard (1996) beschrieb mentale Beanspruchung als eine Menge an Ressourcen die einem zustehen, um eine bestimmte Aufgabe zu lösen. Diese Menge an Ressourcen wird über die Menge an Informationsverarbeitungsmöglichkeiten repräsentiert.

Aufgrund der eher konzeptuellen und wenig trennscharfen Definition des Begriffes mentale Beanspruchung, ist es schwierig, mentale Beanspruchung direkt zu messen. Eine Messung über Aufgabenanforderung oder Aufgabenerfüllung kann jedoch als indirekte Messung dienen, um auf die mentale Beanspruchung zu schließen (DeWaard, 1996; O'Donnell & Eggemeier, 1986; Wickens & Hollands, 2000).

Die Theorie von DeWaard (1996) folgt den Überlegungen zum Yerkes and Dodson (1908) Modell. Dieses Modell beschreibt eine umgekehrt U-förmige Funktion eines „Zustandes“ genannt Arousal. Arousal kann mit den Begriffen Wachheit oder Erregung erklärt werden und ist allgemein eine Reaktion auf eine sensorische Stimulation in einen Zustand diffuser kortikaler Erregung.



**Abbildung 3:** Schematische Darstellung der Beanspruchung bei erbrachter Leistung (DeWaard, 1996).

Das Modell von DeWaard (1996) beschreibt, dass eine geringe Aufgabenanforderung als auch eine geringe Beanspruchung (zum Beispiel Stimulation durch die Umgebung) zu einem Abfall an Aufmerksamkeit und einer Abnahme kortikaler Erregung führt (Grandjean, 1979), was wiederum zu einer geringen Aufgabenerfüllung führt ([Region D](#)). Die Region [A2](#) hingegen beschreibt eine optimale Balance zwischen Beanspruchung und Performance. Regionen [A1](#) und [A3](#) sind Grenzbereiche, in denen zwar die Beanspruchung steigt beziehungsweise sinkt, dies jedoch keinen großen Einfluss auf die Leistung hat. In den beiden Randregionen wird hingegen wieder der Einfluss der Beanspruchung auf die Leistung erkennbar. Eine zu hohe Belastung ([Region C](#)) führt schlussendlich zu einer geringen Leistung (Hancock & Verwey, 1997).

Den Einfluss von Beanspruchungsunterschieden konnten zum Beispiel Merat, Jamson, Lai, Frank C H, and Carsten (2012) aufzeigen. Sie konnten zeigen, dass Fahrer, die eine Zweitaufgabe bedienten und in eine kritische Situation kamen, verspätet auf die kritische Situation reagierten. Die Autoren schlossen daraus, dass die Fahrer ihre, der Fahraufgabe zur Verfügung stehenden Ressourcen in dem Moment überschreiten, in dem sie die Fahraufgabe zurückerlangen wollen.

#### 2.4. Mentale Modelle

In Anbetracht der technischen Weiterentwicklung von Fahrzeugen ist es erforderlich, den Begriff der mentalen Modelle genauer zu betrachten um eine, den theoretischen Grundlagen gerecht werdenden aber auch eine, in der Anwendung überprüfbare Arbeitsdefinition zu entwerfen.

Um die Beanspruchung während der Interaktion mit der Umwelt gering zu halten, kann Wissen, auf das zum Beispiel in kritischen Situationen zurückgriffen wird, in verschiedenen Formen gespeichert werden. Die Wissensspeicherung in sogenannten mentalen Modellen ist eine Form der Wissensspeicherung, auf die in dieser Arbeit schwerpunktmäßig eingegangen wird. Die theoretische Fundierung dieser Arbeit bezieht sich auf die Wissenschaft von Mensch-Maschine-Interaktionen. Diese findet im Allgemeinen in den Bereichen der Ingenieurpsychologie (im englischen häufig unter dem Begriff Human-Factors bekannt) Anwendung. Dabei basiert die Ingenieurpsychologie als Teilgebiet der Arbeitspsychologie auf den Grundlagen der kognitiven Psychologie. Die kognitive Psychologie beschäftigt sich mit Theorien und Befunden, wie das *System Mensch* Informationen aufnimmt, speichert, bearbeitet und zielgerichtet weiterverwendet um Erkenntnisse über seine Umwelt und den vernünftigen Umgang damit zu erlangen ( Funke, 2019).

Der Begriff „Mentale Modelle“ wird in vielfältiger Art und Weise genutzt. Unterschiedliche Forschungstraditionen haben ein ebenso unterschiedliches Verständnis von mentalen Modellen (siehe Absatz Begrifflichkeit). Sie beziehen sich oft auf die Inhalte und Grundlagen des eigenen Forschungsgebietes um auf diese Weise der Theorie aber auch der Empirie gerecht werden zu können. Die Bereiche der Kognitionswissenschaften (zum Beispiel logisches Schlussfolgern; Johnson-Laird, 1983a) und Ingenieurspsychologie (zum Beispiel Gentner & Gentner, 1983) sowie Informatik (Forbus, 1984) und Linguistik (zum Beispiel Van Dijk, & Kintsch, 1983) versuchen theoretische Konzeptualisierungen mentale Modelle zu entwickeln und empirisch zu validieren. Jede dieser Definitionsansätze hat folglich seine Daseinsberechtigung. Umso wichtiger ist die klare Darlegung der Verwendung der Begrifflichkeit „Mentale Modelle“.

Die folgende Arbeit bezieht sich auf die Ansätze der ingenieurspsychologischen und der kognitionspsychologischen Definitionen.

#### 2.4.1. Eigenschaften Mentaler Modelle

Nach der Allgemeinen Modelltheorie nach Stachowiak (1973) haben Mentale Modelle und Modelle im Allgemeinen einige gemeinsame, grundlegende Eigenschaften.

Ein Modell ist eine Abbildung eines Originals (**Abbildungsmerkmal**). Jedoch wird die Liste der Attribute, die das Original ausmachen, in Abhängigkeit von der Relevanz für den Modellersteller, zur Aufnahme in das Modell verkürzt (**Verkürzungsmerkmal**). Dies dient der Reduktion der Komplexität, um so die Verarbeitungs- und Erinnerungsleistung bei der Nutzung von Modellen gering zu halten. Das hat zur Folge, dass ein Modell nie vollständig eindeutig ist und häufig mehrere verschiedene Modelle von einem Original existieren (**Pragmatisches Merkmal**). Die Verschiedenheit der Modelle

existieren oder können Verwendung finden für bestimmte Personen, innerhalb bestimmter Zeiträume oder zu bestimmten Verwendungszwecken.

Ein Modell bildete bestimmte, auf die notwendigen Eigenschaften reduzierte Attribute eines Originals ab, um auf diese Weise das Modell so einfach wie möglich zu belassen und das Verstehen so einfach wie möglich zu machen. Die Funktionen, Inhalte und den strukturellen Aufbau eines Modells liegt in der Hand der Person, die das Modell aufbaut. Dennoch werden Modellen im Allgemeinen weitere Merkmale zugeordnet (vergleiche Seel, 2003). Zum einen erlauben Modelle eine **Vereinfachung**, die eine Reduktion komplexer Phänomene auf die wesentlichen Attribute erlaubt. Alle irrelevanten Informationen werden bei der Verarbeitung der Informationen außer Acht gelassen. Außerdem können Modelle in Form von unterschiedlichen Zeichensystemen veranschaulicht werden (zum Beispiel durch Symbole, Bilder, Text). Die **Veranschaulichung** von Modellen ermöglicht das Sichtbarmachen von nicht direkt beobachtbaren Phänomenen. Durch die **Analogiebildung** können unbekannte Phänomene mit Hilfe von bereits bekannten Attributen und Verhältnissen zueinander erklärt werden. Zu guter Letzt bildet die **Simulation** die Möglichkeit, mit Modellen ein geistiges Experiment durchzuführen, in dem mögliche Anwendungen erprobt und Prognosen für zukünftige Sachverhalte abgeleitet werden können (Seel, 2003).

Mentale Modelle sind als Spezialfall allgemeiner Modelle im Stande, Erklärungsmuster für eine bestimmte Domäne oder eine Situation beziehungsweise einen Sachverhalt zu liefern. Mentale Modelle stellen im kognitionspsychologischen Sinne, hypothetische Konstrukte dar, die nicht unmittelbar beobachtbar oder operationalisierbar sind und deren Erforschung nur über indirekte Messmethoden und beobachtbares Verhalten ermöglicht werden kann (Dutke, 1994). Neben dem reinen Informationsabruf,

wirken mentale Modelle handlungssteuernd (Johnson-Laird, 1983a). Die Handlungssteuerung kann jedoch durch das mentale Modell selbst beeinflusst worden sein. So unterscheidet Norman (1983) zwischen drei verschiedenen Arten mentaler Modelle:

- 1) Das konzeptuelle Modell des Benutzers, also seine Repräsentation des zu beschreibenden technischen Systems,
- 2) Das mentale Modell des Benutzers, seine interne Repräsentation des zu beschreibenden technischen Systems,
- 3) Das Modell des Entwicklers des zu beschreibenden technischen Systems.

Diese Unterscheidung verschiedener Modelle ist vor allem in den Bereichen der Mensch-Maschine-Interaktion und Human Factors notwendig. Norman (1983) bezieht sich bei den Modellen immer auf das Zielsystem („target-system“). Unter dem Zielsystem versteht er das System, das Personen lernen oder nutzen. Dem Aufbau eines mentalen Modells bezüglich hochautomatisierter Systeme (in diesem Fall das Zielsystem), geht ein vom Entwickler a priori entworfenes, konzeptuelles Modell voran. Dieses ist eine passende, akkurate, konsistente und vollständige Repräsentation eines hochautomatisierten Systems (Norman, 1983). Es ist folglich eine Art internes mentales Modell des Entwicklers. Somit kann die Handlungssteuerung nur so adäquat sein, wie es das zu beschreibende technische System im mentalen Modell des Entwicklers ist. Verschiedene Menschen erzeugen in gleichen Situationen oder zu gleichen Sachverhalten unterschiedliche mentale Modelle (zum Beispiel Jarz, 2013). So hat ein Kraftfahrzeugmechaniker ein anderes mentales Modell über ein Auto, als jemand aus einer anderen Berufsgruppe (zum Beispiel ein Bäcker). Die repräsentierten Eigenschaften des zu beschreibenden technischen Systems und die repräsentierten Eigenschaften des mentalen Modells können sich zwar unterscheiden, jedoch sollten sie funktional identisch sein (Schnotz, 1994).

Eine gute Zusammenfassung der Haupteigenschaften von Modellen im allgemeinen und mentalen Modellen im Speziellen lieferte Norman (1983): Mentale Modelle sind instabil, resistent gegenüber Änderungen, unvollständig, sind nicht immer klar voneinander abgrenzbar (ähnliche Prozesse und Sachverhalte können sich vermischen), unwissenschaftlich und entsprechen eher unseren domänenspezifischen Überzeugungen.

Die Instabilität mentaler Modelle ermöglicht die dynamische Aktualisierung und Weiterentwicklung des mentalen Modells durch die ständige Interaktion mit Umgebungsfaktoren und daraus folgenden Adaptionprozessen. Die Relevanz, für wen, wann und wozu das Modell aufgebaut werden soll (pragmatisches Merkmal), steuert die Integration von Informationsaufnahme in das mentale Modell. Jedoch hat die Eigenschaft der Instabilität auch zu verantworten, dass Inhalte mentaler Modelle, die nicht häufig Anwendung finden, vergessen werden.

Ein scheinbarer Widerspruch zur Instabilität mentaler Modelle liegt in den von Gentner and Gentner (1983) gefundenen empirischen Befunden, dass mentale Modelle auch resistent gegenüber Änderungen sein können. Solange ein mentales Modell für den Anwender innerhalb seines Anwendungskontextes keinen Widerspruch erzeugt (zum Beispiel indem sich das Modell als falsch gegenüber dem Erlebten herausstellt), wird es als hinreichend adäquat eingestuft und somit käme es zu keiner Anpassung oder Aktualisierung des Modells. Denn ein unnötig komplexes Modell würde kognitive Ressourcen binden und innerhalb des aktuellen Anwendungskontextes keinen Mehrwert liefern. Somit spielt bei dem Aufbau eines neuen oder der Aktualisierung eines bestehenden mentalen Modells immer auch das Kosten-Nutzen-Verhältnis eine Rolle. Ein Physiker, der zur Erklärung der Schaltung seiner Zimmerbeleuchtung sich das Wasserkreislaufmodell zu Nutze macht, wird das Modell nutzen und anwenden, es aber nicht auf den Anwendungskontext genauer anpassen, solange hierfür kein



hinreichender Grund besteht (Gentner & Gentner, 1983). Auch Dutke (1994) verweist auf den Aspekt der relativen Resistenz mentaler Modelle gegenüber Veränderungen indem er postuliert, dass einfach und gut beherrschbare Handlungen der Elaboration des mentalen Modells vorgezogen werden.

Die Unvollständigkeit ist Folge des oben erwähnten pragmatischen Merkmals eines Modells. Der Inhalt des mentalen Modells ist unter anderem davon abhängig für wen, wann und wozu das Modell aufgebaut wird. Sobald sich Umgebungsfaktoren ändern oder das Modell für andere Anwendungen ebenfalls genutzt werden muss, kann fehlerhaftes Verhalten auf Grundlage des nun nicht mehr adäquaten mentalen Modells erfolgen. Grund hierfür ist, dass mentale Modelle als kognitive Konstruktionen verstanden werden, die auf Grundlage von Wahrnehmung und Gedächtnis aufgebaut werden. Dies führt zu einer dezidierten Betrachtung von Vorgängen in der Mensch-Maschine-Interaktion. So beschreibt Norman (1983) eine Untersuchung, in der die Probanden Rechenaufgaben mit einem Taschenrechner lösen sollten. Sein Fazit lautet, dass die Probanden zwar mentale Modelle zur Bedienung der Geräte entwickelt hatten die funktionierten, jedoch nicht zwingend Sinn ergaben. So hilft das mehrfache Drücken der Löschtaste zwar das Ergebnis zu erreichen, jedoch ist die wiederholte Aktion nicht notwendig und eher ineffizient. Ebenso wurden Zwischenergebnisse zum Teil notiert statt die Zwischenspeicherung im Taschenrechner zu nutzen. In einem Interview erklärte die Probandin, dass Unsicherheit gegenüber der Funktionsweise des Taschenrechners Anlass für die ineffiziente Handhabung des Geräts war. Trotz dieses ineffizienten Nutzens des Taschenrechners, hatte die Probandin eine erfolgreiche Strategie entwickelt, die Aufgabe zu lösen und die Unsicherheit zu verringern.

#### 2.4.2. Begrifflichkeit

Die Entwicklung des Konzepts „Mentale Modelle“ reicht bereits mehr als 75 Jahre zurück und wird heute dem schottischen Philosophen und Psychologen Kenneth Craik zugeschrieben ( zum Beispiel Johnson-Laird, 2004b). Craik, K. J. W. (1943) war in seiner Auslegung des Konzepts mentaler Modelle vor allem die Simulation und die daraus folgende prädiktive Funktion mentaler Modelle wichtig.

*„If the organism carries a ‚small-scale model‘ of external reality and of its own possible actions within its head, it is able to try out various alternatives, conclude which is the best of them, react to future situations before they arise, utilise the knowledge of past events in dealing with the present and future, and in every way to react in a much fuller, safer, and more competent manner to the emergencies which face it.“*

Diese Funktion mentaler Modelle ermöglicht Handlungsausgänge oder Situationen einschätzen zu können, ohne eine konkrete Beobachtung, alleine auf Grundlage einer Simulation möglicher Handlungsausgänge und Situationen. Folglich muss ein mentales Modell auch nicht notwendigerweise mit der realen Situation vollständig übereinstimmen. Eine brauchbare Simulation auf Grundlage des mentalen Modells in dem jeweiligen spezifischen Kontext sieht Craik, (1943) als ausreichend an.

Dem entgegen steht die Aussage von Johnson-Laird (2004b), dass das mentale Modell das widerspiegelt, was es repräsentiert. Über diesen Punkt, wie genau das mentale Modell die reale Welt widerspiegelt, besteht auch weiterhin Uneinigkeit. Während Johnson-Laird (1983a; 2004b) Craik vorwirft mit seiner unspezifischen Aussage das Thema Ikonizität (Fähigkeit von Wörtern und grammatischen Strukturen, das abzubilden, was sie bedeuten) zu vermeiden, geht auch Moser (2003) davon aus, dass der Nutzen eines mentalen Modells bereits gegeben ist, wenn darüber Verhaltens-, Funktions- oder Strukturanalogien gebildet werden können, mit denen Probleme aus der realen Welt mental gelöst werden können. Besteht eine solche Analogiebeziehung

zwischen Modell und realer Welt, dann sei darüber hinaus keine weitere strukturelle Gleichheit von Modell und Realität nicht notwendig.

Im Zuge der Weiterentwicklung des Craik'schen Konzepts des mentalen Modells ist der Begriff mittlerweile in vielen Forschungsbereichen zu finden. Dementsprechend vielfältig sind auch die Definitionen. Die Variation des Umfangs der Interaktion zwischen Mensch, System und der zugehörigen Umgebung führte nach Moray (1999) zu dieser Variation an Definitionen. Trotz vielfältiger Definitionsgeschichte der mentalen Modelle, lassen sich Ansätze zweier Hauptströme erkennen. Diese beiden Ansätze entstanden zur gleichen Zeit, unterscheiden sich jedoch aufgrund ihrer Anwendung.

### „Theoretical approach“

Im Zusammenhang mit dem „theoretical approach“ steht vor allem die Forschung im Bereich des Textverstehens und des Denkens sowie die Person Johnson-Laird, der in seinem Werk von (1983a) die Theorie von mentalen Modellen vor allem im Bereich des induktiven und deduktiven Schlussfolgerns anwandte. Johnson-Laird (1983a) definiert mentale Modelle als die Eindrücke der Welt um uns herum, die aufgrund unserer Wahrnehmung entstehen. Er beschäftigte sich primär mit mentalen Modellen in der Textforschung. Johnson-Laird (1983a) geht davon aus, dass eine mentale Repräsentation der Welt im Arbeitsgedächtnis einer Person entsteht, indem die im Langzeitgedächtnis gespeicherten Informationen mit den Informationen über die durch Wahrnehmungsprozesse extrahierten Aufgabenmerkmale kombiniert werden. Diese Darstellung wird in diesem Zusammenhang als mentales Modell bezeichnet und ist von Natur aus dynamisch. Obwohl Johnson-Laird (1983a) das im Langzeitgedächtnis gespeicherte Vorwissen über die Welt einer Person berücksichtigt und als notwendig zur Bildung mentaler Modelle erachtet, misst er den Informationen, die durch perzeptuelle Prozesse während der Wahrnehmung der Eigenschaften einer Aufgabe

extrahiert werden, größere Bedeutung zu (Rasmussen, 1987). Mentale Modelle werden folglich vor allem auf der Grundlage unserer Wahrnehmung der Situation kombiniert mit unserem Vorwissen und Erwartungen konstruiert (Johnson-Laird, 1983a; Vosgerau, 2006). So ging Johnson-Laird (1983a) davon aus, dass es neben der propositionalen Repräsentation eines Textes (Prädikat + Argument) auch die Repräsentation durch ein mentales Modell gibt, welche durch textunabhängige Informationen erweitert wird.

Johnson-Laird (1983a) nahm an, dass mentale Modelle vor allem beim deduktiven Schließen eine wesentliche Rolle spielen. Er teilt somit die bis dato gültige Annahme nicht, dass allgemein die Struktur der Aufgabe oder des Problems den Denkprozess determiniert und die Denkinhalte eine sekundäre Rolle spielen. Vielmehr geht Johnson-Laird (1983a) davon aus, dass der Mensch auch ohne die Regeln des logischen Denkens und durch induktives und deduktives Denken zu validen Schlussfolgerungen im Alltag kommt. Zudem argumentiert er, dass auf diese Weise und dank der mentalen Modellbildung die Entscheidungsphase abgekürzt und trotz unvollständiger Wissensbasis eine sichere Entscheidung gefällt werden kann. Nach seiner Theorie der mentalen Modelle läuft unser Denkprozess in drei Schritten ab. Zu Beginn wird in der sogenannten Modellkonstruktionsphase eine integrierte Repräsentation (mentales Modell) einer Situation erzeugt. Sind die hierfür zu Grunde gelegten Informationen korrekt, repräsentiert dieses Modell eine Art Abbild der realen Welt. In der darauffolgenden Modellinspektionsphase wird das gerade aufgebaute mentale Modell gescannt. Auf diese Weise werden neue Informationen identifiziert, die bis dato unbekannt waren. Auf dieser Basis ist eine vorläufige Schlussfolgerung möglich. Diese vorläufige Schlussfolgerung wird allerdings in der Modellvariationsphase erneut überprüft. Dieses Mal wird geprüft, ob die Schlussfolgerungen basierend auf dem mentalen Modell,

unter allen möglichen Interpretationen des mentalen Modells und der gegebenen Informationen gültig ist. Ist dies der Fall, wird die gezogene, vorläufige Schlussfolgerung als logisch gültig definiert. Existieren mehrere logische Modelle, so kann es zu logischen Fehlern kommen, da eine Präferenz bezüglich gewisser mentaler Modelle von Personen nicht ausgeschlossen werden kann und sogar erwartet wird (Knauff, 2013).

Dennoch legen Modelle dieses Ansatzes den Schwerpunkt eher auf die strukturelle Analyse eines Systems und sind somit in ihrem funktionalen Erklärungspotential begrenzt. Mentale Modelle des „theoretical approach“ sind folglich eher ein Teil der dynamischen Strukturen, die für die Wissensrepräsentation, vor allem für die räumliche Information zuständig sind.

### „Instructional approach“

Im Bereich der Human Factors Forschung werden mentale Modelle genutzt, um die Beziehung zwischen Mensch und Maschine zu untersuchen. Hier sind mentale Modelle eine reiche und elaborierte Struktur, die das Systemverständnis eines Nutzers widerspiegelt. Sie beinhalten Informationen darüber, wie ein System funktioniert und warum es auf diese Weise funktioniert (Carroll & Olson, 1987). Durso and Gronlund (1999) gehen einen Schritt weiter in ihrer Definition und sprechen von einer Repräsentation typischer, kausaler Zusammenhänge von Handlungen und Umwelteinflüssen, die das Funktionieren der Systeme beeinflussen. Die Definition von Gentner (2002) „A mental model is a representation of some domain or situation that support understanding, reasoning, and prediction.“, (p. 9683), trifft den Kern aller Definitionsansätze. Mentale Modelle unterstützen demnach das Verstehen einer Situation und ermöglichen eine Prüfung der Plausibilität des Verstehensprozesses sowie eine Projektion in die Zukunft. Die Fähigkeit, auf Grundlage von mentalen Modellen, Situationen in die Zukunft zu projizieren und so zukünftige Situationsausgänge zu simulieren, unterliegt

primär den Möglichkeiten für mentale Simulationen (Gentner, 2002). Mentale Simulationen finden nach Landriscina (2013) oft in einem visuellen Format im Arbeitsgedächtnis statt. Auf diese Weise können die Nutzer der mentalen Modelle mögliche Handlungsalternativen simulieren und ihre Handlungsauswahl abwägen. Die Zuhilfenahme bereits existierenden Vorwissens kann die hohen Anforderungen an kognitive Prozesse minimieren und für eine schnelle und ressourcenschonende Simulation sorgen (Gentner, 2002; Kahneman, 2011; Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977).

Mentale Modelle im Rahmen des „Instructional approach“ stehen somit weniger für integrierte Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis beim Denkprozess, sondern werden vielmehr als subjektive Funktionsmodelle für technische und physikalische Prozesse gesehen, die im Langzeitgedächtnis verortet sind. Sie dienen zur Repräsentation von Alltagswissen und bilden Attribute von Objekten und Relationen zwischen Objekten ab. Analogien spielen im „instructional approach“ eine wichtige Rolle. So zeigen Studien von Gentner and Stevens, (1983), dass sich viele Menschen die physikalischen Vorgänge in einem Stromkreislauf ähnlich wie die Prozesse in einem Wasserkreislauf vorstellen. Diese Analogiebildung hilft zwar die mentalen Modelle schnell auf Grundlage bereits existierender aufzubauen, jedoch birgt dies auch die Gefahr von Fehlern in der Modellbildung.

Ähnlich wie bereits Johnson-Laird (1983a; 2010; 2013), gehen auch Vertreter dieses Ansatzes davon aus, dass eine Person durch die Interaktion mit physikalischen Systemen eine Repräsentation im Arbeitsgedächtnis bildet, indem sie das im Langzeitgedächtnis gespeicherte Wissen und die aus den Aufgabeneigenschaften gewonnenen Informationen kombiniert (Gentner & Stevens, A., L., 1983; Norman, 1983)).

Dennoch wird im „instructional approach“ davon ausgegangen, dass sich die Kenntnis der Struktur und des Betriebs des physikalischen Systems, primär auf die

Inhalte des Langzeitgedächtnisses beziehen. Der Schwerpunkt der Bildung und der Aktualisierung mentaler Modelle liegt hier folglich eher auf Untersuchungen, wie Wissen in Form von mentalen Modellen erworben und aus Langzeitgedächtnis extrahiert wird.

Die vielfältigen Definitionen und die Nutzung mentaler Modelle in den unterschiedlichsten Forschungsbereichen unterstreicht die individuelle Natur von mentalen Modellen, die jeder Situation oder Domäne angepasst werden kann. Auf der einen Seite beinhalten mentale Modelle Wissensstrukturen, die auf Erfahrungen zurückgeführt werden können. Zum anderen gehen die Inhalte mentaler Modelle aber auch weit über die direkte Erfahrbarkeit hinaus und können auch weniger greifbar und sehr diffus sein (Gentner, 2002). Zum Beispiel kann sich jeder vorstellen, was passiert, nachdem ein Glas Wasser auf dem Tisch umgestoßen wurde. Allerdings wird auch jeder ungeachtet seiner konkreten Erfahrung wissen, ob ein einzelnes Kartoffelchip oder eine ganze Kartoffel weiter fliegen wird, falls man sie werfen würde, ohne es je ausprobiert zu haben. Diese Fähigkeit, aus Ereignissen zu schlussfolgern und zu prädikieren, geht weit über das bloße Erleben und aus der Erfahrung schöpfen hinaus (Gentner, 2002).

### Gegenüberstellung beider Ansätze zu mentalen Modellen

Beiden Strömungen gemein ist, dass mentale Modelle eine analoge Repräsentation zum Beispiel einer Situation in der realen Welt sind und im Gedächtnis einer Person verortet sind. Die Gedächtnisinstanz mentaler Modelle unterscheidet sich jedoch in den jeweiligen Ansätzen.

Während ein „theoretical approach“ mentale Modelle als integrierte Repräsentation im Arbeitsgedächtnis versteht (Johnson-Laird, 1983a), geht der „instructional approach“ von mentalen Modellen als subjektive Funktionsmodelle von Gegenständen und Prozessen aus (Knauff, 2013; 2019), die im Langzeitgedächtnis gespeichert sind

und zur Erklärung komplexer, meist naturwissenschaftlicher Problemstellungen herangezogen werden (vergleiche Stromkreislauf Gentner & Gentner, 1983; Gentner & Stevens, A., L., 1983). Folglich unterschieden sich die beiden Ansätze in der Verarbeitungs- und Gedächtnisinstanzen, die beim Aufbau und der Aktualisierung mentaler Modelle einbezogen werden. Folglich unterscheidet sich ebenfalls die Charakteristika mentaler Modelle in den je-weiligen Ansätzen. Mentale Modelle werden im „theoretical approach“ eher als situa-tiv, dynamisch und temporär betrachtet, wohingegen der „instructional approach“ von einer langfristigen Wissensstruktur ausgeht.

Neben der Gedächtnisinstanz, ist jedoch der größte Unterschied in der mentalen Modellierung und Anwendung von mentalen Modellen beider Ansätze. Zwar gehen beide Ansätze davon aus, dass mentale Modelle genutzt werden um mentale Simulationen durchzuführen und das diese wiederum das Modell auch ergänzen, jedoch nutzt der „structural approach“ die Analogiebildung um mentale Modelle in kognitiven Prozessen anzuwenden und der „theoretical approach“ hingegen nutzt das Schlussfolgernde Denken und den Diskurs. Somit stellt der „theoretical approach“ logisches Schlussfolgern in den Vordergrund seiner Forschung um mentale Modelle, und der „instructioanl approach“ den Bezug zu naturwissenschaftliche Phänomenen und der Analogiebildung (vergleiche Johnson-Laird, 1983a und Gentner & Gentner, 1983).

Der „theoretical approach“ wird häufig mit den Auffassungen von Johnson-Laird (1983a) in Verbindung gebracht und basiert auf der Textforschung.

Der „instructional approach“ wird häufig mit den Studien von Gentner in Verbindung gebracht und baut auf empirischen Untersuchungen auf, die dem Bereich der Human Factors oder auch Ingenieurpsychologie zugeschrieben werden..

Während der „theoretical approach“ den Schwerpunkt bei der Theorienbildung setzt mit dem Ziel, eine einheitliche Theorie für bestimmte kognitive Prozesse wie zum Beispiel dem logischen Denken zu entwerfen, fokussiert der „instructional approach“



einen allgemeineren Ansatz zu finden, um Wissen und mentale Prozesse zu formen, die das Verständnis in komplexen Domänen wie zum Beispiel der Naturwissenschaft unterstützen. Ziel ist dabei vor allem ein Lernprozess, der Konsequenzen vermittelt um daraus Erklärungen für naturwissenschaftliche Phänomene ableiten zu können (Greca & Moreira, 2000; Gentner, 2002).

Gerade im Bereich der Forschung zu Themen der Mensch-Maschine-Interaktion und Human Factors werden mentale Modelle auch als „naive theory“ oder „naive physics“ bezeichnet (vergleiche Jones, Ross, Lynam, Perez, & Leitch, 2011). Die Frage, wie Menschen ein Verständnis für kausale Prozesse im Zusammenhang mit physikalischen oder mechanischen System entwickeln ist Hauptgegenstand beider Forschungsbereiche. Personen, die ein Phänomen innerhalb einer Domäne erklären, neigen dazu, sich bei Erklärungen ähnlicher Phänomene aus einer anderen Domäne, auf die bereits Bekannte zu beziehen (Collins & Gentner, 1987). So kann beispielsweise ein mentales Modell zum Fließverhalten von Wasser zur Erklärung vom Fließverhalten vom elektrischen Strom herangezogen werden. Entitäten und Beziehungen die dem Wasser-Modell entsprechen, werden auf das Strom-Modell abgebildet. Häufig wird diese Methode angewandt, wenn Phänomene erklärt werden, die nicht direkt wahrnehmbar sind (Rickheit & Habel, 1999). Die mentalen Modelle im Bereich der Kognitionspsychologen (zum Beispiel Johnson-Laird, 1983a; 2010; 2013), weisen eher den Charakter analog-bildhafter Abbildungen auf.

Auf dieser Grundlage lässt sich eine, dieser Arbeit zu Grunde gelegte Arbeitsdefinition für den Begriff mentale Modelle erarbeiten.

Im Hinblick auf das in dieser Arbeit untersuchte Gebiet und aufbauend auf den dargelegten Konzeptualisierungen und Konnotationen des Begriffs der mentalen Mo-

delle, sind mentale Modelle im Folgenden als konzeptuelle Modelle im ingenieurpsychologischen Sinne (Bereich Human Factors) und interne Wissensrepräsentationen gemeint. Da das Verständnis der Umstände des Aufbaus, der Aktualisierung und der Unterscheidung mentaler Modelle dabei helfen können, Gestaltungshinweise für die Systembeschreibung hochautomatisierter Fahrzeuge zu geben. Diese Systembeschreibungen sollten wiederum rückwirkend auf die konzeptuellen Modelle der Entwickler Einfluss haben, auch wenn diese Prozesse nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind.

### 2.4.3. Herausforderungen mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren

In der Interaktion mit hochautomatisierten Fahrzeugen wird dem Fahrer die Bildung mentaler Modelle erschwert, da die eigentliche Mensch-Maschine Interaktion aufgrund der fortschreitenden Automatisierung zeitlich weniger wird. Immer mehr Funktionen werden automatisiert und der Eingriff des Fahrers in immer weniger Situationen notwendig. Aus diesem Grund fehlen dem Fahrer womöglich eindeutige Hinweise auf die Funktionsweise hochautomatisierter Fahrzeuge in gewissen, selten auftretenden Situationen. Allerdings liegt genau hier die grundlegende Eigenschaft hochautomatisierter Fahrzeuge. Der Fahrer soll die Möglichkeit bekommen, sich mit anderen Aufgaben während der hochautomatisierten Fahrt zu beschäftigen. Somit ergibt sich für den Aufbau und die Aktualisierung mentaler Modelle, dass sie im Falle eines hochautomatisierten Systems nicht nur wichtig, sondern auch schwieriger und komplexer als bei anderen, geringer automatisierten Systemen sind.

Die nun neu zu bildenden mentalen Modelle zu hochautomatisierten Systemen, bauen noch auf den altbekannten mentalen Modellen und Handlungsabläufen eines manuellen Fahrzeuges auf. Anhand des von Rasmussen (1983) und Donges (1982a) integrierten Modells zur Fahraufgabe (vergleiche Donges, 2009b, Rasmussen, 1986),

wird erkennbar, dass trotz der höheren Automation, die anderen Level der Fahraufgabe nicht verschwinden. Das Level des fertigkeitbasierten Verhaltens dürfte hierbei noch die geringste Rolle spielen, da es sich hier um ein Level handelt, bei dem Aufmerksamkeit keine federführende Kontrollfunktion hat („The man looks rather than sees.“ Rasmussen, 1990, p. 259). Das Verhalten auf der Stufe des regelbasierten Verhaltens wird jedoch hauptsächlich durch bereits gespeicherte Regeln oder Prozeduren gesteuert. Diese Regeln und Prozeduren sind aufgrund von allgemeinen Erfahrungen empirisch oder aus dem Wissen anderer Personen als Anleitung oder Prozedur abgeleitet worden. Somit werden die Personen auf diesen Level vermehrt auf bereits bestehende mentale Modelle zurückgreifen.

Das drei-Ebenen Modell von Rasmussen (1983) sowie die Ergänzung um die Hierarchien Fahrer, Fahrzeug, Umwelt (Donges, 1982a, 2009b), weist auf den Rückgriff von mentalen Modellen auf dem Level des wissensbasierten Verhaltens hin. So werden auf dieser Ebene, die Ergebnisse der perzeptuellen Prozesse um die bereits bekannten Handlungs- und Situationsmuster ergänzt. Dies erfordert eine hohe Anforderung an den Verarbeitungsprozess und die Ressourcen, die für die Fahraufgabe genutzt werden. Da die beiden unteren Verhaltenslevel weniger bis gar nicht mehr bei hochautomatisierten Fahrzeugen genutzt werden, muss das mentale Modell die Inhalte dieser Ebenen ebenfalls beinhalten, was gegen Natur von (mentalen) Modellen und deren Eigenschaften spricht. Somit wäre es denkbar, dass mit fortschreitender Technologisierung die mentalen Modelle zwar weniger, dafür aber umfangreicher werden. Dies wiederum hätte einen großen Einfluss auf die Abrufgeschwindigkeit von Informationen die als mentale Modelle vorliegen.

Während die Wahrnehmungsprozesse, insbesondere die perzeptuellen Prozesse, auf der fertigkeit- und regelbasierten Verhaltensebene stattfinden, findet die Nutzung mentaler Modelle auf der wissensbasierten Verhaltensebene statt. Diese

Ebene zeichnet sich dadurch aus, dass hier ein bewusster Rückgriff auf Wissen stattfindet. Beim regelbasierten Verhalten kann die bereits empirisch gesammelte Erfahrung ebenfalls einen Einfluss auf das Fahrverhalten haben, jedoch findet hier der Abgleich ohne Aufmerksamkeit statt. Dennoch wird diese Verhaltensebene für die Aktualisierung der mentalen Modelle genutzt.

Mentale Modelle bilden häufig sehr komplexe Systeme ab. Vor allem im Bereich Human Factors, werden mentale Modelle untersucht, die eine große Anzahl an Freiheitsgraden beinhalten. Um diese Freiheitsgrade weitestgehend abzudecken, benötigen die mentalen Modelle eine platzsparende „Verpackung“. Somit werden häufig Analogien gebildet, die es ermöglichen, nur die Verbindungen zwischen verschiedenen Situationen oder Sachverhalten zu erinnern, aber das gesamte Wissen zu erhalten. Auf diese Weise kann ressourcenschonend auch in aufmerksamskritischen Situationen (Situationen, die viel Aufmerksamkeit benötigen, zum Beispiel in Ablenkungssituationen oder Übernahmesituationen) Informationen aus mentalen Modellen abgerufen werden. Zudem ist die Nutzung von Kapazitäten des Langzeit- und Kurzzeitgedächtnisses hilfreich, um einen Ausgleich der Ressourcenbelegung zu bekommen.

### 2.5. Situation Awareness - Situationsbewusstsein

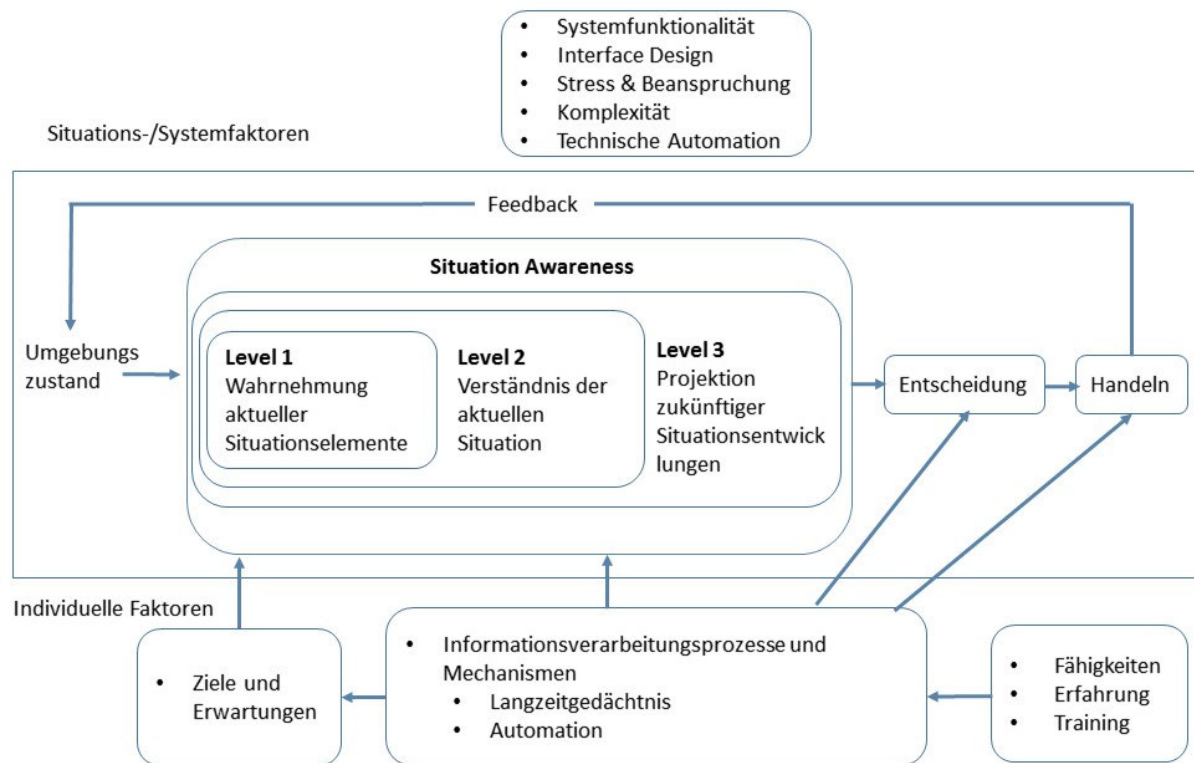
Neben dem Konzept mentaler Modelle wird im Zusammenhang mit mentalen Modellen und der Beobachtung von Fahrerverhalten ein von Endsley entwickeltes Modell zum Situationsbewusstsein diskutiert (Endsley, 1988a). Das Konzept Situationsbewusstsein (Situation Awareness; SA) wurde in der Luftfahrtforschung entwickelt und in vielen anderen Forschungsbereichen (zum Beispiel der Automobilindustrie) bereits untersucht (Endsley, 1995, 1995b; Kaber & Endsley, 2004b; Durso & Sethumadhavan,

2008). Auch wenn die Definition von SA vielfältig ist (siehe Breton & Rousseau, 2001 für eine systematische Klassifikation), ermöglicht die Auseinandersetzung mit dem Thema einen Einblick in viele noch unbekannte mentale Prozesse.

Wickens (1996a) betont in seiner Definition von SA die Bedeutung der Verknüpfung zwischen Bottom-Up und Top-Down Prozessen, indem er den Rückgriff auf vorhandenes Wissen in Form von mentalen Repräsentationen mit einbezieht.

Die bekannteste Definition stammt von Endsley (1988a, p. 792), “[SA is] the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future“. Auf Grundlage dieser Definition entwickelte sie ein Modell, das die Beziehung zwischen SA, Beanspruchung, Entscheidung und Leistung konzeptualisiert (Endsley, 1988a; Endsley, 1995b). Das Hauptaugenmerk des Modells liegt auf den drei Leveln die SA definieren. Die Wahrnehmung für den Akteur relevanter Elemente in der jeweiligen Fahrsituation (zum Beispiel das Blinken des Vordermanns), umfasst das erste Level des Konzepts SA. Diese auf Level 1 erfahrenen Wahrnehmungseindrücke werden auf Level 2 zu einer zusammenhängenden, mentalen Repräsentation der Situation zusammengefügt, wodurch die erlebte Situation verstanden wird (Verständnis; zum Beispiel: Der Fahrer will abbiegen). In dem dritten Level von SA, werden die wahrgenommenen und verstandenen Situationen in die Zukunft projiziert, um Vorhersagen auf Grundlage der Wahrnehmung und des Verstehens zu machen (Projektion; zum Beispiel: Der Fahrer wird vor dem Abbiegen auf die Bremse treten um seine Geschwindigkeit zu verringern). Endsley (2000c) betont die Bedeutung der zeitlichen Dynamik, die das Modell berücksichtigt. Dies ist in den dynamischen Situationen der Luftfahrt aber auch in den noch dynamischeren Situationen des Straßenverkehrs relevant. Hier wird oft eine Einschätzung benötigt, wann ein Ereignis geschehen wird oder eine be-

stimmte Handlung ausgeführt werden muss (zum Beispiel Gefahrenbremsung als Reaktion auf einen gerade entstehenden Unfall). Diese hochdynamische Umwelt zwingt den Fahrer dazu, sein aktuelles mentales Modell permanent auf die neuesten Gegebenheiten anzupassen und zu erneuern.



**Abbildung 4:** Modell „Situationsbewusstsein“ in dynamischen Entscheidungssituationen von Endsley (1995b).

Dies hat zur Konsequenz, dass auch andere Faktoren SA beeinflussen oder sie moderieren (siehe Abbildung 4). Die Handlungsauswahl und –ausführung gehören nicht direkt zu SA, folgen ihr jedoch direkt nach und sind durch sie beeinflusst. Endsley (1995b) trennt deshalb SA von den Entscheidungsprozessen und erwartet bei einem korrekten SA nicht zwingend auch die richtige Handlungsauswahl. Andere Faktoren, die die SA direkt oder indirekt beeinflussen, nehmen Einfluss auf diesen Entscheidungsprozess. So kann eine fehlende Erfahrung oder die Komplexität der Situation zu einer Fehlhandlung führen, obwohl zugleich die SA vollständig und adäquat ist. Somit

wirken die Informationsverarbeitung und das Wissen über zum Beispiel eine Automation einer Funktion nicht nur an der Stelle des SA, sondern auch im Bereich der konkreten Entscheidungs- und Handlungsprozesse.

Endsley (1995b) hat in ihrem Modell zu SA viele kognitive Prozesse, zum Beispiel Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Gedächtnisprozesse, mentale Modelle berücksichtigt (siehe Abbildung 4), auf die auch im Rahmen dieser Arbeit zur Erklärung von Systemverstehen zurückgegriffen wird. Aufgrund der fehlenden Trennschärfe der Definition und des hohen Abstraktionsgrades sowie der problematischen Verallgemeinerung einzelner Messungen wird SA kontrovers diskutiert (Buld, Tietze, & Krüger, 2005; Flach, 1995; Dekker & Hollnagel, 2004; Dekker & Woods, 2002). Die empirischen Befunde auf Grundlage von SA zeigen jedoch auf, dass SA einen Erklärungsansatz im Bereich Automation bieten kann (Parasuraman, Sheridan, & Wickens, 2008). Somit wird der Ansatz auch in dieser Arbeit als Erklärungsansatz herangezogen.

### 2.5.1. Zusammenhang: SA und mentale Modelle

Unter SA und mentalen Modellen wird Wissen als konzeptuelles Analogon zum Konstrukt Umwelt verstanden, wovon sich Verstehen und Vorhersagen zukünftiger Situationen ableiten lassen.

SA bezieht sich mehr auf die Inhalte des Bewusstseins (awareness) über eine Situation in einem bestimmten Moment. Dies sind zum Beispiel Daten, Verständnis von Bedeutungen oder Vorhersagen, aber es sind nicht zwingend die gleichen Mechanismen, die bei der Generierung von Informationen und Wissen helfen.

Die mentalen Modelle sind hingegen das Wissen, das als Basis für den Aufbau von SA dient. Fracker (1988) warnte vor dem Einfluss mentaler Modelle auf SA. Mentale Modelle würden die Informationsselektion und die anschließende Interpretation

von Informationen beeinflussen und könnten zu Fehlern in SA führen. Diese Position wurde durch die Ergebnisse von Jones and Endsley (1996) unterstützt. Die Autoren fanden heraus, dass ca. 7% der SA Fehler auf ein unvollständiges mentales Modell zurückgeführt werden kann und dass 6.5% der SA Fehler aufgrund von falschen mentalen Modellen geschehen. Diese und Endsleys Untersuchungen im Jahr 2000, zeigen die Bedeutung mentaler Modelle für die Entwicklung von SA. So postuliert Endsley (2000c) außerdem, dass mentale Modelle eine wichtige Rolle bei der Überwindung der Limitierung des Arbeitsgedächtnisses unter erhöhter Aufgabenschwere spielen.

Der Zusammenhang zwischen mentalen Modellen und der allgemeinen Wahrnehmungsforschung ist bereits bei der Beschreibung mentaler Modelle aufgezeigt worden (vergleiche Abschnitt 2.4). Darüber hinaus kann nun mit SA ein weiterer Faktor im Interaktionsmodell dieser Theorien aufgenommen werden. Da die Aufmerksamkeit in ihrer Kapazität und Verfügbarkeit an Ressourcen begrenzt ist (zum Beispiel Wickens, 2002b), ist eine Wissensorganisation umso wichtiger. Sie bestimmt darüber, welche der verschiedenen, kompetitiven Reize der Umwelt SA bilden. Sobald Informationen wahrgenommen werden, muss sie mit weiteren Informationen integriert und mit den Zielen verglichen und durch Projektionen in die Zukunft ergänzt werden ( Endsley, 2000c). All diese Prozesse gehen zu Lasten des Arbeitsgedächtnisses. Um dieses zu entlasten, werden mentale Modelle zur Unterstützung des Aufbaus und Aufrechterhaltung von SA gebildet (in Abbildung 4 von Endsley, 1995b sind mentale Modelle als "Longterm memory strores" und "information processing mechanism" vertreten).



## 2.6. Messmethoden – Messung mentaler Modelle

Mentale Modelle im Allgemeinen sind somit Modelle, die die wahrgenommene Welt repräsentieren und vereinfacht darstellen, um Situationen zu verstehen und vorherzusagen. Folglich sind mentale Modelle durch das Wahrnehmen der Umwelt, limitierenden Aufnahmekanälen (zum Beispiel visuell und taktil) und Kapazitäten, entstehenden, perzeptuellen Prozessen der Wahrnehmung und der anschließenden Interpretation und Projektion einer Situation in die Zukunft beeinflusst. Das ist zum einen ein sehr komplexer Zusammenhang vieler verschiedener theoretischer Grundlagen, zum anderen bieten diese Grundlagen aber auch Möglichkeiten, mentale Modelle über deren zugrundeliegenden Prozesse und Theorien zu messen und zu beschreiben.

### 2.7.1. Subjektive Messmethoden mentaler Modelle

Viele der bisher genutzten Messmethoden für mentale Modelle basieren auf einer Datengrundlage erhoben mit subjektiven Messmethoden. So können Fokusgruppen zum Thema automatisiertes Fahren moderiert werden. Die dort entstehenden, verbalen Aussagen werden dann in einer qualitativen Datenanalyse ausgewertet und interpretiert. Allerdings ist die Wahl einer repräsentativen Fokusgruppe und eine zielführende Moderation sowie eine belastbare Interpretation dieser Daten ein Faktor, der die Methode zwar als ersten Einstieg in das Thema sicher rechtfertigt, darüber hinaus jedoch nicht Aussagen zulässt, die ausreichend belastbar, replizierbar und verallgemeinerbar sind.

Eine ähnliche, jedoch besser zu steuernde Methode ist das Interview. Auch diese Methode hilft anfangs, einen Einblick in die mentalen Modelle einzelner Personen zu bekommen. Allerdings ermöglicht ein Interview lediglich den Zugriff auf verbalisierbares Wissen. Ein mentales Modell muss jedoch nicht vollumfänglich verbalisierbar sein. Außerdem ist die Abfrage von mentalen Modellen im Interview keine flexible

Methode. Sie liefert aufgrund der Individualität mentaler Modelle subjektive, nicht verallgemeinerbare Ergebnisse.

Eine weitere, von Endsley (2017d) zur Untersuchung eines Tesla S Models genutzte Methode ist die eines Tagebuchs. Diese Methode hat zwar die gleichen Nachteile wie die zuvor behandelten, verfügt aber zusätzlich über den Vorteil einer hohen externen Validität.

Eine andere Methode, die vor allem eine Datengrundlage erhoben mit subjektiven Methoden für die Entscheidungswahl auf Grundlage von mentalen Modellen und dem Informationsverarbeitungsprozess liefert, ist die eines Entscheidungsbaumes. Mind Mapping und Card Sorting sind Methoden, mit deren Hilfe sich die Struktur der mentalen Modelle von Personen gut nachverfolgen lassen. Außerdem erleichtert ein Card Sorting den benutzerfreundlichen Aufbau eines zukünftigen Navigationsmenüs, das zum Beispiel nur die Begriffe enthält, die von der Zielgruppe verstanden und als nützlich erachtet werden.

Allen Methoden gemein ist, dass sie im Bereich von nutzerzentrierten Fragestellungen Anwendung finden. Für den Bereich der angewandten kognitiven Forschung beim hochautomatisierten Fahren sind sie jedoch nur begrenzt einsetzbar. Nutzerzentrierte Fragestellungen sind zwar als Einstieg in ein Thema bestens geeignet, jedoch lassen die beschriebenen Methoden keine eine belastbare und verallgemeinerbare Ergebnisauswertung und Interpretation zu. Viele der genannten Methoden sind zudem für Einzelpersonen und eine explorative Untersuchung sehr hilfreich, bieten jedoch für eine Untersuchung einer repräsentativen Stichprobe mit dem Ziel eine konkrete Fragestellung zu untersuchen, keine Möglichkeit.

Eine objektive indirekte Methode, die über den Zusammenhang des Doppelaufgabenparadigmas mit dem multiplen Ressourcen Modell und dem Konzept der men-

talent Beanspruchung indirekt die Informationsverarbeitungsprozesse untersucht, findet bereits im Bereich der Human Factor Forschung Anwendung und stellt eine sinnvolle Ergänzung zu den subjektiven Messungen dar.

### 2.7.2. Objektive Messmethoden mentaler Modelle

#### *Das Zweit-Aufgaben-Paradigma*

Mentale Modelle im Zusammenhang mit dem Doppelaufgabenparadigma, dem multiplen Ressourcenmodell und dem Konzept der mentalen Beanspruchung spielen in der Human Factors Forschung eine große Rolle, da über diese Theorien indirekt die Informationsverarbeitungsprozesse erforscht werden können.

Das Zweit-Aufgaben-Paradigma oder Doppelaufgabenparadigma erlangte seine Bedeutung, da es als methodische Basis für Aufmerksamkeitstheorien herangezogen wurde. Mit Hilfe dieses Paradigmas kann die menschliche Informationsverarbeitung, die nicht unmittelbar zugänglich ist, indirekt gemessen werden (Johannsen, 1976; Pew, 1979). Dies machten sich viele empirische Arbeiten im Rahmen der Erforschung der Fahraufgabe zu Nutzen (zum Beispiel Jahn et al. (2005)).

Das Doppelaufgabenparadigma beschreibt die parallele Ausführung von zwei Aufgaben. Das führt wie oben beschrieben aufgrund von begrenzten Ressourcen zu einer Aufteilung der Aufmerksamkeitsressourcen (vergleiche Abschnitt 2.3). Die in diesen Fällen erbrachten Leistungen können sowohl indirekt über die Primäraufgabe (Loading Task) oder die Sekundäraufgabe (Subsidiary Task) gemessen werden.

Im Subsidiary-Task-Paradigma werden die Probanden instruiert, Primäraufgabendeckremente auf Kosten der Zweitaufgabe zu vermeiden. Somit können über Leistungsmaße (zum Beispiel RT, Aufgabenerfüllung) Leistungseinbußen in der Zweitauf-

gabe erkannt werden, die auf die Primäraufgabe zurückzuführen sind. Bei dem Loading-Task-Paradigma werden die Probanden angewiesen, die Sekundäraufgabe zu priorisieren und somit die Zweitaufgabenleistung auch auf Kosten der Primäraufgabe konstant zu halten. Auf diese Weise können Leistungsmaße gemessen werden, die die Erstaufgabe umfassen (zum Beispiel Spurhaltegüte, Geschwindigkeit). In beiden Messungen ist mit einer Leistungsabnahme zu rechnen, die unter anderem von der in den Aufgaben genutzten Ressource der Informationsverarbeitung abhängt (siehe zum Beispiel Sanders, 1983). Nach Sanders (1983) ist mit der größten Messgenauigkeit zu rechnen, wenn sich die Ressourcen beider Aufgaben überschneiden. Wenn also die primär visuelle Fahraufgabe mit einer weiteren visuellen Sekundäraufgabe kombiniert wird, wird nach Sanders (1983) eine größere Messgenauigkeit zu erwarten sein, als würde die primär visuelle Fahraufgabe mit einer nicht visuellen Sekundäraufgabe kombiniert werden.

Da beim hochautomatisierten Fahren die Fahraufgabe größtenteils von technischen Rahmenbedingungen bestimmt und durch Computerprogramme und technische Regelungen vorgegeben ist, wird der Nutzen der Leistungsmessung über die Primäraufgabenleistung stark eingeschränkt. Die in der manuellen Fahrzeugführung genutzten Maße wie Bremsstärke und –zeitpunkt, Lenkwinkel und –geschwindigkeit, Beschleunigung sowie Spurhaltegüte werden beim hochautomatisierten Fahrzeug nicht durch den Fahrer, sondern das Fahrzeug bestimmt. Folglich nimmt mit steigender Automation die Möglichkeit ab, die Primäraufgabenleistung zu messen und von dieser auf zum Beispiel mentale Modelle des Fahrers zurückzuschließen. In solchen Fällen bleibt nur die indirekte Messung von Leistungsmaßen der Sekundäraufgabe, um Rückschlüsse auf den Fahrerzustand bilden zu können.

Das Doppelaufgabenparadigma wurde in der vorliegenden Arbeit genutzt. Die Probanden wurden instruiert, der Fahrsicherheit die höchste Priorität einzuräumen,

was dem Subsidiary-Task-Paradigma entspricht. Die in dieser Arbeit genutzten Leistungsmaße wurden mit Hilfe einer Zweitaufgabe erhoben (Subsidiary Task) und beinhalten zum einen die Auslassungen von Stimuli (Misses) und die Latenz der Reaktionen auf vorgegebene visuelle oder taktile Reize (RT).

### *RT und Reaktionsgüte (Misses)*

Wie bereits erwähnt können mentale Modelle beim automatisierten Fahren untersucht werden, indem indirekte Messmethoden genutzt werden. Die RT und die Reaktionsgüte (Misses; gekennzeichnet durch die Anzahl an vergessenen Stimuli, je weniger Stimuli vergessen wurden, desto höher die Reaktionsgüte) bilden in dieser Arbeit den Schwerpunkt der Messgrößen. Die RT als Maß zur Erklärung menschlichen Verhaltens, wurde bereits früh entdeckt. So nutzte sie Helmholtz und widerlegte seine vorherige Annahme, dass neuronale Impulse nicht messbar seien, da sie augenblicklich, also in einer Art Lichtgeschwindigkeit abliefen. In Experimenten (siehe zum Beispiel Helmholtz, 1867) demonstrierte er, dass die Weiterleitung von Reizen nicht augenblicklich sondern mit einer Verzögerung von ca. 30m/s geschieht und schloss daraus, dass Gedanken und Bewegungen aufeinanderfolgend in einem Intervall messbar sind.

Donders (1969) nutzte diese Erkenntnisse, um die Experimente zu RT voranzutreiben. Dazu gab Donders (1969) einer Gruppe von Probanden eine leichte Aufgabe, bei der sie auf einen leichten Stromimpuls am Bein mit der ipsilateralen Hand reagieren sollten. Das Bein, an dem der Stromimpuls erfolgte, war den Probanden im Vorhinein bekannt. Eine andere Gruppe von Probanden bekam eine schwerere Aufgabe, bei der die Probanden auf einen leichten Stromimpuls am Bein mit der jeweils kontralateralen Hand reagieren sollten. Den Probanden dieser Gruppe war nicht bekannt, an welchem Bein der Stromimpuls erfolgen wird. So fand Donders (1969), dass

bei leichten RT- Aufgaben die Probanden schneller reagierten, als bei komplexen RT- Aufgaben. Donders (1969) schloss aus diesem Ergebnis, dass die erhöhte RT in der schweren Aufgabe auf einen mentalen Entscheidungs- und daraus abgeleiteten Handlungsprozess zurückzuführen ist. Neben der Aufgabenschwere, gibt es noch weitere Faktoren, die einen Einfluss auf die gemessene RT haben. So ist die Stärke des Reizes ein weiterer, nicht zu vernachlässigender Faktor bei der Bestimmung von RT. Bei starken visuellen (Boff & Lincoln, 1988; Luce, 1986) oder taktilen (Krause, Conti, Späth, & Bengler, 2014) Reizen ergaben sich kürzere RT als bei schwächeren Reizen. Hinzu kommt, dass die Entdeckungsrate bei starken Reizen höher ist als bei schwachen Reizen (Luce, 1986). Neben der RT an sich, können auch die ausgelassenen Reaktionen als ein weiteres, aus den RT ableitbares Maß genutzt werden (Misses). Dieses erweiterte Maß der RT kann vor allem bei Doppelaufgaben eingesetzt werden. Jahn et al. (2005) nutzen die Hit Rate, also die Anzahl an korrekten Reaktionen, als weiteres Ablenkungsmaß neben der RT.

Die RT und die Anzahl an ausgelassenen Stimuli (Misses) wurde in den Experimenten 1 und 2 der Studie 2 genutzt, um Rückschlüsse auf die Bildung und Aktualisierung mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren zu ziehen.

### *Detection Response Task Methoden*

Eine grundlegende Methode, die sich die indirekte Messung mentaler Modelle über die RT und Misses zu Nutzen macht, wurde im Rahmen einer ISO Zertifizierung (ISO 17488: 2016) anerkannt. Es handelt sich hierbei um Detection Response Tasks (DRT). Darin inbegriffen sind zum Beispiel die Peripheral Detection Response Task (PDT) und die Tactile Detection Response Task (TDRT). In dieser Arbeit werden sowohl die PDT als auch TDRT als indirektes Maß in den Versuchen zwei und drei herangezogen, um

die mentalen Modelle auf Grundlage unterschiedlicher Systembeschreibungen zu erforschen. Die Interpretation der zuvor angesprochenen Metriken dieser DRT Methoden gilt wie folgt: Wird neben einer Aufgabe A eine DRT Aufgabe ausgeführt und liefert kürzere RT als Aufgabe B und eine parallel ausgeführte DRT Aufgabe, so gilt die Aufgabe A als eine leichtere Aufgabe im Vergleich zu Aufgabe B. Das heißt einfachere Aufgaben erschöpfen nicht alle der Person zugänglichen Bearbeitungsressourcen und ermöglichen somit eine parallele Ausübung der DRT. Anspruchsvollere Aufgaben hingegen erschweren aufgrund der höheren Auslastung zugänglicher Bearbeitungsressourcen die parallele Bearbeitung der DRT, so dass die Geschwindigkeit (RT) und die Genauigkeit (Miss) der Aufgabenbearbeitung abnimmt (Conti, Dlugosch, Schwarz, & Bengler, 2013; Conti, Dlugosch, Vilimek, Keinath, & Bengler, 2012; Engström, J. Larsson, & Larsson, 2013; Harbluk, Burns, Tam, & Glazduri, 2013; Ranney, Baldwin, Smith, Mazzae, & Pierce, 2014b; Young, Hsieh, & Seaman, 2013; Engström, Johansson, & Östlund, 2005; Harbluk et al., 2013; Bengler, Kohlmann, & Lange, 2012; Diels, 2011; Engström et al., 2005).

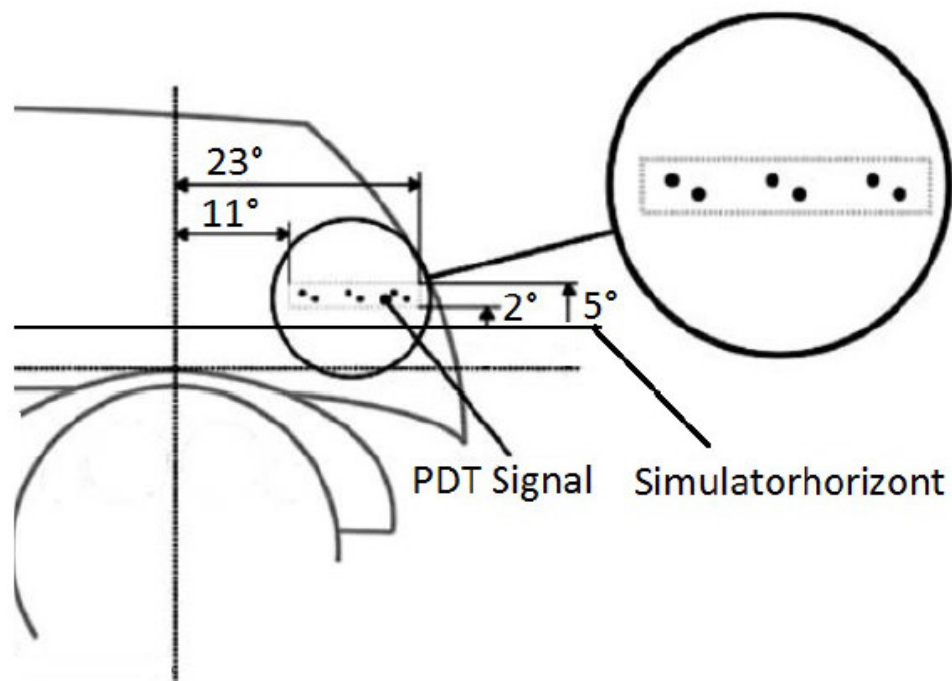
Mit Hilfe der unterschiedlichen DRT Methoden, wie zum Beispiel der PDT (visuell) oder der TDRT (taktile) Reizauslösung, ist es möglich mit Blick auf die Sensitivität, das beste experimentelle Setup zu wählen.

Über die Zeit hinweg entwickelten sich verschiedene PDT Varianten (zum Beispiel Ranney, Mazzae, Baldwin, & Salaani, 2007; Harms & Patten, 2003; Jahn et al., 2005). Diese Varianten unterschieden sich meist in der Methode, wie die visuellen Reize präsentiert wurden und in der Anzahl an visuellen Reizen.

Zum Beispiel werden visuelle Stimuli auf die Windschutzscheibe mit Hilfe von LEDs projiziert, in einer LED Anzeige direkt präsentiert, auf einer am Kopf befestigten Apparatur präsentiert (Head-mounted; van der Horst, A. R. A. & Martens, 2010), oder

in einer Simulation eingespielt (Ranney et al., 2011; Ranney, Baldwin, Parmer, Martin, & Mazzae, 2011).

Die PDT Methode wurde häufig als Sekundäraufgabe in Fahrsituationen eingesetzt um über die Metriken RT und Misses auf die Beanspruchung und die häufig damit verbundene Ablenkung des Fahrers zu schließen (vergleiche Bloemacher, Morys, Käfer, & Huff, 2015, Harms & Patten, 2003; Jahn et al., 2005). Die Aufgabe des Fahrers bei dieser DRT Methode beinhaltet eine einfache Reaktion auf einem 2 bis 5° Sehwinkel oberhalb des Simulatorhorizontes und 17° rechts des Lenkradmittelpunktes in der Peripherie präsentierten visuellen Stimulus (siehe Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Hier ist schematisch der Ort und die relative Größe der visuellen Stimuli auf dem Simulatorhorizont zu sehen. Die Anbringung der PDT in Studie 2 und 3 ist abgeleitet aus der Studie von Jahn et al. (2005).

Adaptiert wurde die Methode ursprünglich aus dem Versuch von Jahn et al. (2005) und diente bereits unter den gleichen Voraussetzungen als valide Methode. Bloemacher et



al. (2015) fanden in einer Vorstudie heraus, dass ein kürzeres Stimulusintervall von 0.75-1.75 Sekunden eine höhere Datendichte liefert und von den Probanden in ihrer Reaktionsabfragehäufigkeit noch als angenehm empfunden wurde. In Anlehnung an Jahn et al., (2005), mussten die Probanden bei den in dieser Arbeit durchgeführten Experimente innerhalb von 2 Sekunden nach Erscheinen des Reizes reagieren, da der Stimuli anschließend verschwand und als Miss gezählt wurde.

Die Sensitivität der PDT gegenüber Anforderungen der Fahraufgabe konnte in verschiedenen Simulator- (zum Beispiel Martens & van Winsum, 2000; Burns, Knabe, & Tevell, 2000) und Realfahrzeugstudien (zum Beispiel Jahn et al., 2005; Olsson & Burns, 2000) gezeigt werden.

Die Flexibilität der DRT Methoden im Allgemeinen, zeigt sich in weiteren empirischen Studien. Olsson and Burns (2000) nutzten LED Projektionen auf der Windschutzscheibe, die zwischen 11 und 23° Sehwinkel oberhalb des Horizontes eingeblendet wurden in ihrer PDT Version. Olsson and Burns (2000) nutzten außerdem ein kürzeres Stimulusintervall im Vergleich zu Jahn et al. (2005) und erkannten, dass weitere Aufgaben, wie das Wechseln von CDs oder das Rückwärtszählen, die Leistung in den PDT Maßen beeinflussten. Eine weitere Adaption der Grundidee der PDT nutzte Verwey (2000). Er präsentierte visuell peripher für 750ms Zahlen, auf die die Probanden verbal reagieren sollten. Die Detektionsleistung variierte in Abhängigkeit von den Nachfragen bezüglich der Verkehrssituationen (zum Beispiel geradeaus fahren, rechts oder links abbiegen). Die PDT stellt somit eine reliable und valide Methode dar, die Aufgabenanforderung der Fahraufgabe zu bewerten. Sie hat das Potential, selbst kleine Peaks in der Beanspruchung zu detektieren und so einen tieferen Einblick in die sehr schnell ablaufenden Informationsverarbeitungsschritte zu gewähren. Zudem ähneln visuelle, periphere Stimuli Objekten und Ereignissen, die während

der Fahrt wahrgenommen werden (zum Beispiel auf dem Bürgersteig spielende Kinder) und geben der PDT Methode somit eine ökologische Validität (vergleiche Höger, 2001).

Neben einer visuellen Sekundäraufgabe wurde in dieser Arbeit auch eine taktile Methode (TDRT) genutzt. Bei der TDRT müssen Probanden auf die Stimulation durch einen Vibrationsmotor reagieren. Diese taktile Methode steht nicht in Konkurrenz mit der primär visuellen Fahraufgabe (Wierwille et al., 1996; Sivak, 1996). Dies verringert das Konfliktpotential zwischen Entdeckung der Stimuli der Sekundäraufgabe und der Wahrnehmung der äußeren Einflüsse beim Autofahren. Auf diese Weise scheint die TDRT Methode eine der „Purest among the DRT variants as a measure of attentional demand“ (Ranney et al., 2014b Ranney, Baldwin, Smith, Mazzae, & Pierce, É). Allerdings ist die TDRT Methodik weniger häufig als die PDT Methodik empirisch untersucht worden. Die PDT Methodik wurde zum Beispiel weitaus häufiger im Zusammenhang mit Fragestellungen rund um die Fahrzeugführung genutzt. Auch bei der TDRT gibt es unterschiedliche Varianten, die sich im Wesentlichen durch den Ort der Anbringung und Stimulation unterscheiden (zum Beispiel Kopf, Schulter). Auch wenn bislang keine nachweislichen Unterschiede eine Bevorzugung einer bestimmten DRT Variante empirisch unterstützen würden (Conti et al., 2012; Engström et al., 2005; Merat & Jamson, 2008; Ranney et al., 2014b), könnte die TDRT aufgrund ihrer fehlenden visuellen Komponente, eine spezifischere und möglicherweise exklusivere Methode darstellen, Beanspruchung im Fahrkontext zu messen (Ranney et al., 2014b; Engström et al., 2013; Hsieh, Seaman, & Young, 2015; Young et al., 2013).

Die TDRT wird häufig im Schulterbereich angebracht, für diese Studien wurde sie jedoch am Handgelenk angebracht, um eine zügige, die Fahraufgabe nicht störende, Alternative dazustellen. Damit die Probanden nicht aus einem eigenem Impuls heraus versuchen, die RT zu minimieren und dabei eher Fehler akzeptieren, wurden

sie bei der Instruktion auf die Aufgabenpriorisierung hingewiesen (Heitz, 2014; Luce, 1986). Sie hatten stets die Fahraufgabe zu priorisieren.

### 2.7.3. Messung von SA

Da mentale Modelle als Basis für SA dienen (vergleiche Abschnitt 2.5.1), können deren Aufbau und Aktualisierung auch indirekt über das Konzept SA gemessen werden. Das Erheben von SA relevanten Daten ist ähnlich schwierig wie das zuvor beschriebene Messen kognitiver Prozesse, da es sich bei beidem um nicht direkt messbare Größen handelt. Allerdings helfen, wie bereits beschrieben, indirekte Methoden, das Konzept zu bewerten.

Da SA ursprünglich aus der Flugforschung kommt, fand in diesem Bereich auch der größte Teil der Forschung zur Messung von SA statt. Eine Literaturzusammenfassung sammelte über dreißig verschiedene Ansätze zur Messung von SA (Stanton and Young (2005). Diese Methoden können in fünf Kategorien zusammengefasst werden:

- (1) freeze probe recall Technik
- (2) real-time probe Technik
- (3) post trial subjective rating Technik
- (4) observer rating Technik
- (5) Prozessindizes (process indices)

Die real-time probe Technik nutzt den Inhalt von Befragungen als auch die Antwortgeschwindigkeit als Maß für SA. Die bekannteste Anwendung dieser Methode ist die Situation Present Assessment Methode (SPAM; Durso et al., 1998). Die Methode der self-rating Technik ist zwar eine ökonomische Methode Daten zur Beschreibung von SA zu erheben, aber aufgrund der Selbstbewertung der wahrgenommenen SA eine sehr subjektive und retrospektive Methode. Die Situation Awareness Rating Technik

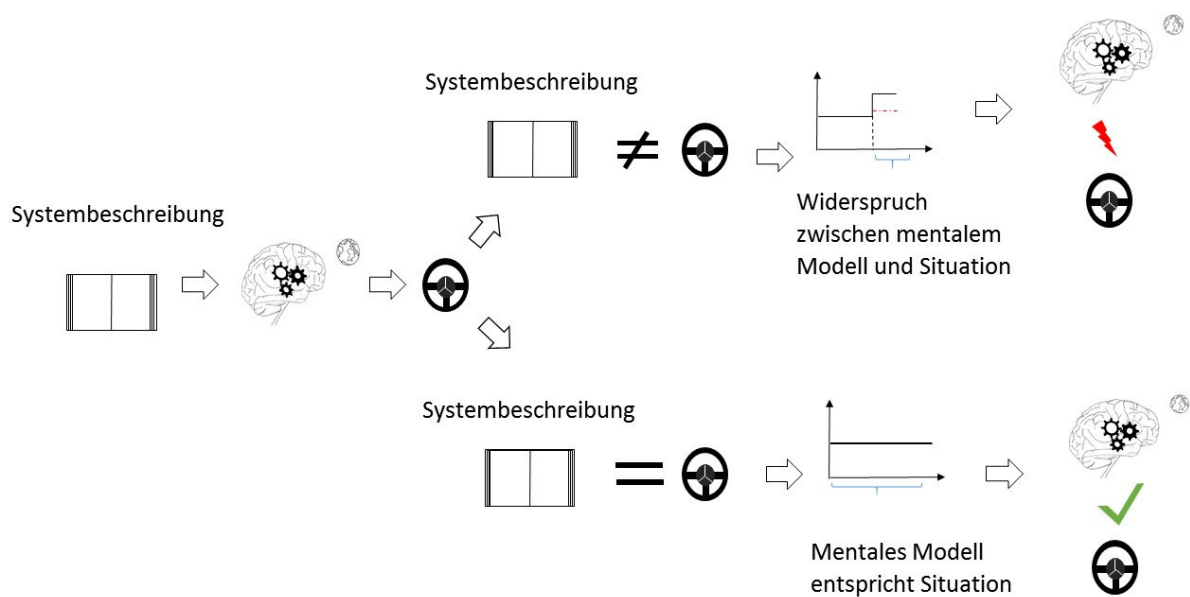
(SART; Taylor, 2017) ist eine subjektive Selbstbewertungstechnik. Eine häufig im Feld genutzte Methode zur Messung von SA ist die Observer-rating Technik. Bei dieser Methode beobachten Fachexperten die Probanden während ihrer Aufgabenerfüllung. Allerdings ist auch diese Methode kritisch zu hinterfragen, da nicht geklärt ist, in wie weit ein Fachexperte SA eines Probanden bewerten kann beziehungsweise, ob SA ausreichend valide bemessen wird, wenn lediglich die Aufgabenerfüllung betrachtet wird. Das zu dieser Methode passende Instrument ist die Behavioural Rating Scale (SABARS; Matthews & Beal, 2002).

Ein Beispiel für Prozessindizes sind Blick- beziehungsweise Augenbewegungsvorrichtungen, um die Augenbewegungen der Teilnehmer während ihrer Aufgabenerfüllung zu erfassen in Kombination mit einem „Thinking aloud“ Protokoll. Mit der Erfassung der Augenbewegungen, sollen Aspekte der Aufmerksamkeit gemessen werden und das Protokoll soll Einblicke in die kognitiven Prozesse während der Aufgabenerfüllung geben.

Die am häufigsten genutzte Methode ist die Freeze probe Technik (Jones & Kaber, 2004). Diese wurde in der hier vorgestellten, ersten Studie in angepasster Form angewandt (SAGAT; Endsley, 1988a; vergleiche Studie 1). Bei der Methode werden zum Beispiel Simulationen der Fahrumgebung eingefroren, alle Displays werden schwarz und eine Reihe an Fragen bezüglich der aktuellen SA werden dem Probanden gestellt. Die Probanden beantworten die Fragen basierend auf ihrem Wissen und dem Verständnis der momentanen Situation zum Zeitpunkt des Einfrierens. Der Vorteil und zugleich Nachteil dieser Methode liegt in der direkten SA Abfrage. So können zwar zeitaktuelle SA Daten gesammelt werden, die nicht durch Gedächtnisprozesse gestört wurden, jedoch bietet diese Aufgabe auch viel Diskussionspotential bzgl. der ökologischen Validität.

### 3. Bezug zur Arbeit und daraus abgeleitete Ziele

In dieser Arbeit wurden die mentalen Modelle mit der subjektiven Methode der Befragung über Fragebögen und mit der objektiven Methode wie den Reaktionsdaten untersucht. Auf Grundlage der Aufmerksamkeit und der damit verbundenen Theorie multipler Ressourcen (Wickens, 2002b), sowie dem Konzept der mentalen Beanspruchung und des Doppelaufgabenparadigmas, wurde in zwei von drei Experimenten der Einfluss mentaler Modelle auf die RT untersucht. Der Zusammenhang dieser Theoriebausteine und unserer Hypothesen ist in Abbildung 6 kurz skizziert.



**Abbildung 6:** Den Hypothesen unterliegendes Modell zum Einfluss von Systembeschreibungen auf den Aufbau und die Aktualisierung mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren.

Wie in Abbildung 6 zu erkennen, werden Probanden mit verschiedenem Wissen über das automatisierte System verschiedene mentale Modelle entwickeln. Dieses Wissen zur Bildung der mentalen Modelle wird über eine anfänglich gereichte Systembeschreibung aufgebaut (vergleiche Beggiato & Krems, 2013). Probanden mit einer Systembeschreibung, die nicht zum erlebten Systemverhalten passt (inkorrekte Systembeschreibung), bauen ein Modell auf, das ebenfalls nicht zur erlebten Situation passt (inkorrektes mentales Modell). Probanden mit einer Systembeschreibung, die zum erlebten Systemverhalten passt (korrekte Systembeschreibung), bauen ein Modell auf, das zur erlebten Situation passt (korrektes mentales Modell; vergleiche Studie 1). Das jeweils entstandene mentale Modell wird in einer Fahrsituation auf die Probe gestellt. Verbunden mit dem mentalen Modell sind Erwartungen in unterschiedliche Fahrsituationen. Falls nun das automatisierte System anders als erwartet reagiert und somit das mentale Modell und die aktuell erlebte Situation nicht zueinanderpassen, wird ein mentaler Prozess der iterativen Überprüfung der Situation und des mentalen Modells gestartet. Dies hat neben einem zeitlichen Aufwand einen erhöhten mentalen Aufwand zur Folge. Ein nachfolgender Aktualisierungsprozess, der das mentale Modell auf Grundlage der erlebten Situation verbessert oder ergänzt, benötigt Zeit und Aufmerksamkeitsressourcen. Diese daraus entstehende erhöhte mentale Beanspruchung ist mit Hilfe einer Detektionsaufgabe (zum Beispiel PDT oder TDRT) messbar.

Falls es einen Mismatch zwischen mentalen Modell und der aktuell erlebten Situation gibt, sollte die RT aufgrund einer erhöhten Beanspruchung stärker ansteigen, als bei einem Match zwischen mentalen Modell und der erlebten Situation (vergleiche DeWaard, 1996; Wickens, 2002b). Da mentale Prozesse jedoch sowohl schnelle, als auch kurzfristige Ereignisse sein können, sollte eine Messmethode gewählt werden, die sensitiv genug ist, um die erwarteten Effekte auch messen zu können.

Hingegen werden die Probanden in der Bedingung, in der die Systembeschreibung und das daraus abgeleitete mentale Modell der Situation entspricht, keine längeren RT erzeugen, da unter anderem das oben beschriebene Aktualisieren des mentalen Modells entfällt und die Beanspruchung somit geringer ist.

Mit Hilfe des Modells (siehe Abbildung 6) und den Annahmen, die damit verbunden und hier beschrieben sind, soll in dieser Arbeit folgenden Fragen nachgegangen werden:

- (1) Wird auf Grundlage einer Systembeschreibung ein mentales Modell aufgebaut und angewendet?
- (2) Findet eine Anpassung des mentalen Modells auf Grundlage von (Fahr-) Erfahrung statt?
- (3) Kann Systemverstehen mit Hilfe einer objektiven Methode gemessen werden und welche objektive Methode eignet sich zur Messung von Systemverstehen?

Eine vierte Frage bezieht sich auf den Einfluss mentaler Modelle auf Akzeptanz von und Vertrauen in hochautomatisierte Fahrfunktionen und ist nicht im Zusammenhang mit obigem Modell zu bewerten. Da es sich jedoch um eine Forschungsfrage im Rahmen dieser Arbeit handelt, wird sie der Vollständigkeit wegen an dieser Stelle ebenfalls genannt:

- (4) Sind das Vertrauen und die Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen beeinflusst durch mentale Modelle und deren Änderungen über die Zeit?

## 4. Studien

Die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit wurden im Rahmen einer Beschäftigung bei der Daimler AG untersucht. Die folgenden Kapitel sind als getrennt lesbare Manuskripte gestaltet. Daraus ergeben sich inhaltliche Überlappungen zur Einleitung und zwischen den empirischen Kapiteln.

Studie 1 fand unter laborähnlichen Voraussetzungen an Laptops statt und beschäftigte sich somit nicht mit dem konkreten Fahrerlebnis, sondern mit der reinen Anwendung von Gelerntem. Studie 2 Experiment 1 fand im fixed base (FBS) Fahrsimulator und Studie 2 Experiment 2 im moving base (MBS) Simulator der Daimler AG statt. Die Autorin dieser Arbeit übernahm hier jeweils hauptverantwortlich Planung, Vorbereitung, Auswertung und Dokumentation der Studien. Da die Datenerhebung im Mercedes-Benz FBS standardmäßig versetzt im Einschichtbetrieb stattfindet, können pro Versuchsleiter maximal 50% der Daten erhoben werden. Die Datenerhebung im MBS findet standardmäßig in einem Zweischichtbetrieb statt, sodass pro Versuchsleiter maximal 25% der Daten erhoben werden können. Der prozentuale Anteil des Autors an den einzelnen Studien kann dabei wie folgt beziffert werden:

Studie 1	Einleitung (95%); Methodik (95%); Datenerhebung (50%); Auswertung (95%); Diskussion (95%)
Studie 2 Experiment 1	Einleitung (95%); Methodik (95%); Datenerhebung (50%); Auswertung (90%); Diskussion (90%)
Studie 2 Experiment 2	Einleitung (95%); Methodik (80%); Datenerhebung (40%); Auswertung (90%); Diskussion (90%)



**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beinhaltet eine Übersicht zu den veröffentlichten Studien und den beteiligten Co-Autoren. In den folgenden Kapiteln werden die Studieninhalte und –schwerpunkte dargestellt und im Bezug zum Theorie- teil diskutiert und in die bestehende Empirie eingeordnet.

**Tabelle 1** *Übersicht der veröffentlichten Beiträge.*

Studie	Artikel	Inhalte der Artikel
1	Blömacher, K., Nöcker, G., & Huff, M. (2018). The role of system description for conditionally automated vehicles. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 54, 159-170. <a href="https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.01.010">https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.01.010</a>	4, 4.1, 5
2 Experiment 1 und 2	Blömacher, K., Nöcker, G., & Huff, M. (2019). The evolution of mental models in relation to initial information while driving automated. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. <a href="https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.11.003">https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.11.003</a>	4, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 5

*Notiz:* Die drei Experimente wurden in zwei Papern zusammengefasst und veröffentlicht.

Um den Text lesefreundlicher zu gestalten und die wiederholenden Beschreibungen auf ein Minimum zu reduzieren, wurde auf die Bezeichnungen „inkorrektes mentales Modell“, „korrektes mentales Modell“ oder „unvollständiges mentales Modell“ zurückgegriffen. Da das mentale Modell, das im Rahmen dieser Arbeit betrachtet wird, selbst nur in Bezug zu einer Situation inkorrekt, korrekt oder unvollständig sein kann, bezieht sich die im Folgenden genutzte verkürzte Darstellung auf die jeweiligen Systembeschreibungen. Somit wird im Folgenden häufig aus zum Beispiel „mentales Modell der Probanden aus der Bedingung mit der inkorrekten Systembeschreibung“ ein verkürztes „inkorrektes mentales Modell“.

## 4.1. Studie 1

Die Studie 1 wurde 2018 unter dem Titel „The role of system description for conditionally automated vehicles“ im Journal Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour veröffentlicht (vergleiche Blömacher, Nöcker, & Huff, 2018).

### 4.1.1. Zusammenfassung

**Ziel:** Die Untersuchung der Fragestellung, wie eine Systembeschreibung eines hochautomatisierten Systems das mentale Modell sowie das Vertrauen und die Akzeptanz in hochautomatisierte Systeme beeinflusst.

**Hintergrund:** Die voranschreitende Entwicklung automatisierter Fahrzeuge fordert ein angemessenes Verständnis über das System. Bislang fehlt es an Studien für hochautomatisierte Systeme, die sich mit dem Thema Systemverstehen, mentale Modelle, Vertrauen und Akzeptanz auseinandersetzen.

**Methode:** Für die Studie wurden 120 Probanden rekrutiert und in drei Gruppen aufgeteilt. Sie bekamen entweder eine korrekte, eine unvollständige oder eine inkorrekte Beschreibung eines hochautomatisierten Fahrzeuges. Im Anschluss bekamen die Probanden fünf Videos zu Situationen präsentiert, in denen die Fahrsituation es entweder erforderte, dass der Fahrer das Fahrzeug übernehmen musste, oder keine Systemgrenze gezeigt wurde, sodass keine Übernahme durch den Fahrer notwendig war. Unmittelbar bevor die Übergabe an den Fahrer gezeigt wurde, wurde das Bild eingefroren und die Probanden bekamen Fragen zu ihrer aktuellen SA und ihrer Konfidenz bzgl. Ihrer Antworten gestellt. Vor und nach den Videos wurden die Probanden zudem zu ihrem Vertrauen in und ihrer Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen befragt.

**Ergebnisse:** Die Antworten zur SA variierten abhängig von der Systembeschreibung (korrekt, unvollständig oder inkorrekt) und dem Situationsbewusstseinslevel. Während das Wahrnehmen der Situation und der Situationsumgebung (Level 1 SA) nicht durch

die Systembeschreibung beeinflusst war, hatte sie einen Einfluss auf die beiden anderen SA Level Verständnis und Projektion. Die Probanden mit der inkorrekten Systembeschreibung hatten den größten Wissenszuwachs über die Zeit. Die Konfidenz in die eigenen Antworten war in der korrekten Bedingung am höchsten. Die Variablen Vertrauen und Akzeptanz zeigten keinerlei Effekte.

**Fazit:** Verschiedene Systembeschreibungen führen zu verschiedenen Inhalten mentaler Modelle zum hochautomatisierten Fahren. Die Wahrnehmung der Fahrsituation ist durch die mentalen Modelle unbeeinflusst. Ein mentales Modell auf Grundlage einer inkorrekten Systembeschreibung führt zu einem inkorrekten Verständnis der Fahrsituation. Dieser Effekt wird jedoch über die Zeit hin kleiner, da sich die mentalen Modelle mit der Zeit anpassen.

**Anwendung:** Eine akkurate Systembeschreibung führt zu weniger Unfällen aufgrund von fehlender Erfahrung. Es wäre denkbar, eine Probefahrt durch ein videobasiertes Tutorial zu ersetzen.

*Schlüsselwörter:* Hochautomatisiertes Fahren, mentale Modelle, Vertrauen, Akzeptanz, Videostudie

#### 4.1.2. Einleitung

Automatisierte Fahrzeuge werden im modernen Leben immer wichtiger. Die Anzahl an Funktionen und somit die Komplexität der Fahraufgabe steigt. Daraus entsteht die Notwendigkeit, die Betriebsanleitung unbedingt aufmerksam zu lesen, um ein adäquates mentales Modell, das die Fahrfunktionen komplett und korrekt repräsentiert, aufzubauen. Eine häufig beschriebene Automation im Bereich der Fahrzeugindustrie ist die adaptive Geschwindigkeitsanpassung (ACC, Adaptive Cruise Control). Aktuelle Forschung konnte zeigen, dass das mentale Modell eines Fahrers sich den Funktionen des ACCs recht schnell anpasst (Beggiato & Krems, 2013).

Beggiato and Krems (2013) manipulierten das mentale Modell von ACC Fahrern, indem sie Ihnen eine korrekte, eine unvollständige und eine inkorrekte Systembeschreibung gaben. Anders als Beggiato and Krems (2013), wird in dem folgenden Versuch nicht auf eine normale Befragung der Probanden zurückgegriffen, sondern das mentale Modell wird über das Konzept des Situationsbewusstseins und der daraus entstandenen SAGAT Methode gemessen (Endsley, 1988a). Dennoch bleibt der Grundgedanke, den Aufbau und die Aktualisierung mentaler Modelle bei automatisierten Fahrzeugen messen zu wollen der Gleiche.

#### *Situationsbewusstsein und mentale Modelle*

Das Wissen über Systemgrenzen eines (hoch-) automatisierten Systems muss erlernt werden (Ra Rajaonah, Anceaux, & Vienne, 2006; Sep Seppelt & Lee, 2007). Die am häufigsten genutzte Methode, ein mentales Modell über Systemgrenzen eines Level 2 Systems aufzubauen (zum Beispiel ACC), ist das Lesen der Bedienungsanleitung (zum Beispiel Jenness, Lerner, Mazor, Osberg, & Tefft, 2008; Mehlenbacher, Wogalter, & Laughery, 2002). Aus diesem Grund wurden Studien konzipiert, die die Relevanz

von Systembeschreibungen zum Aufbau eines geeigneten mentalen Modells zu den Systemgrenzen untersuchen. Studien (zum Beispiel Beggiato and Krems (2013), Forster et al., 2017) konnten zeigen, dass das Systemverstehen (inklusive Systemgrenzen), über Systembeschreibungen manipuliert werden kann. Mit Hilfe von vier Fahrsituationen, die der Fahrer in der Studie von Beggiato and Krems (2013) erlebte (Einschersituation, Baustelle, Stau, fehlende Spurmarkierung), konnte auf den Unterschied im Systemverstehen der drei Gruppen mit unterschiedlicher Systembeschreibung hinweisen. Das jeweilige Systemverstehen passte sich über die Fahrzeit hinweg einander an. Beggiato and Krems (2013) beabsichtigten über das Systemverstehen in Form von Wissensfragen, auf das mentale Modell zu schließen.

Um konkretere Rückschlüsse auf den Einfluss mentaler Modelle beim (hoch-)automatisierten Fahren zu ziehen, wird in dem folgenden Experiment das Konzept Situationsbewusstsein (situation awareness, SA) herangezogen. Das Konzept SA bietet einen Weg, zu untersuchen, wie eine Systembeschreibung den Aufbau und die Aktualisierung eines mentalen Modells eines hochautomatisierten Systems beeinflusst. Endsley (1995b) definiert SA als ein Konzept, das den aktuellen Zustand des Systemmodells erfasst. SA basiert auf komplexen Schemata, die das Verhaltensmodell modellieren (Endsley, 1995b, p. 43). Zudem nutzt Endsley (1995b) drei Level um das Konzept SA genauer zu beschreiben:

- Level 1: Wahrnehmung von Umweltelementen in einem gewissen Zeit- Raum Gefüge
- Level 2: Verstehen und Erkennen der Bedeutung einer Situation
- Level 3: Projektion einer zukünftigen Situation auf Grundlage der vorliegenden Informationen

Um von den Strukturen des Langzeitgedächtnisses zu profitieren, dem Flaschenhals der Aufmerksamkeit (Wickens, 2008; Broadbent, 1958; Treisman, 1964) und der Überlastung des Arbeitsgedächtnisses (Fracker, 1988) entgegen zu wirken, werden mentale Modelle gebildet. Dennoch können der Aufbau und die Aktualisierung eines mentalen Modells aufwendig sein. Fracker (1988) warnte vor signifikanten Problemen, da die Informationsselektion und –interpretation Fehler in der SA erzeugen könnte. Ein zentrales Problem könnte der Confirmation Bias werden, der als Tendenz definiert ist, nur auf die Informationsquellen zu reagieren, die den eigenen Erwartungen entsprechen (Fracker, 1988). Somit würde ein mentales Modell die Aufmerksamkeit eines Fahrers lediglich auf Reize lenken, die im mentalen Modell beinhaltet sind. Falls das mentale Modell die Situation nicht akkurat abbilden kann, wird vermutlich eine Kaskade an Folgefehlern entstehen. So könnte ein Fahrer glauben, dass sein Level 2 System auf ein bereits stehendes Fahrzeug bremst, auch wenn dies nicht der Fall ist. Somit wird aus einem falschen mentalen Modell eine falsche Erwartung des Fahrers und daraus eine falsche Reaktion.

Die Autoren Jones and Endsley (1996) weisen darauf hin, dass etwa 7% der SA Fehler auf ein unvollständiges mentales Modell zurückgeführt werden können (zum Beispiel häufen sich bei jungen Piloten der Fehler einer Höhenüberschreitung, da sie nicht wissen, dass im Autopilotenmodus die Höhe während einer Kurve nicht erkannt wird).

SA wird mit Hilfe der SAGAT (Situation Awareness Global Assessment Technique) gemessen (Endsley, 1988a; Kaber & Endsley, 2004a). Die Probanden erleben eine Simulation eines bestimmten Szenarios. Zu einem, für den Probanden nicht absehbaren Zeitpunkt, stoppt die Simulation und eine Maske wird über den Screen gelegt. Nun werden die Probanden gebeten, eine Serie an Fragen, die sich auf die SA

beziehen, zu beantworten (Endsley, 1988a). So fragten Kaber and Endsley (2004a) nach der Farbe und der Größe eines Zielobjektes (Level 1 SA). Fragen zum Abstand, Geschwindigkeit und Beschleunigung betrafen das Level 2 SA. Das Level 3 SA beinhaltete Fragen zum Ausgang einer bestimmten Situation. Somit erlaubt die Messung von SA über die SAGAT Methode einen ersten Einblick in kognitive Prozesse beim hochautomatisierten Fahren, die sich auf Grundlage von mentalen Modellen ändern.

### *Vertrauen und Akzeptanz*

Vertrauen und Akzeptanz sind zentrale Konzepte in der Erforschung des hochautomatisierten Fahrens (siehe zum Beispiel Forster et al., 2017; Hergeth, Lorenz, & Krems, 2017). Die Wahrscheinlichkeit, dass ein hochautomatisiertes System genutzt wird, steigt mit steigendem Vertrauen und Akzeptanz. Lee and See (2004) definierten Vertrauen als etwas, das dem Fahrer hilft, in einer von Unsicherheit geprägten Situation seine Ziele zu erreichen. Studien aus anderen Forschungsbereichen (zum Beispiel der Flugforschung) illustrierten, dass Vertrauen nicht alleine von technischer Optimierung eines Systems abhängt, sondern ebenso von der Qualität der Mensch-Maschine Interaktion. Somit werden sowohl technische als auch menschliche, unentdeckte Fehler zu einem Vertrauensverlust führen (Madhavan & Wiegmann, 2005; Moray & Inagaki, 2000). Dennoch zeigte sich, dass nicht die Menge an Fehlern ausschlaggebend für das Vertrauen in (hoch-) automatisierte Systeme ist, sondern vielmehr die Vorhersagbarkeit von Fehlern (Lee & See, 2004; Hergeth, Lorenz, Vilimek, & Krems, 2016). Falls die Erwartungen stark von dem realen System abweichen, wird das Vertrauen sinken - selbst wenn das System gesamtheitlich betrachtet gut funktioniert (Lee & See, 2004).

Ebenso ist Akzeptanz eine weitere Voraussetzung für die Nutzung von Fahrerassistenzsystemen (Najm, Stearns, Howarth, Koopmann, & Hitz, 2006). Obwohl es



nach unserer Kenntnis weder eine einheitliche Definition noch eine standardisierte Messmethode von Akzeptanz gibt, ist mehrheitlich akzeptiert, dass menschliches Verhalten nicht primär durch objektive Faktoren beeinflusst wird sondern auch durch subjektive Wahrnehmung (Ghazizadeh, Lee, & Boyle, 2012). Beggiato and Krems (2013) definierten Akzeptanz im Rahmen der Fahrzeugführung als eine direkte Einstellung des Fahrers zu dem System und folgten dem Ansatz von Van Der Laan, Heino, and DeWaard (1997).

#### 4.1.3. Hypothesen und Forschungsfragen

In der aktuellen Studie wurde die Entwicklung der mentalen Modelle von Fahrern eines hochautomatisierten Fahrzeugs anhand von drei verschiedenen vorläufigen Systembeschreibungen getestet: korrekt, unvollständig und inkorrekt. Mit Hilfe der SAGAT-Methode (Endsley, 1988a) sollte festgestellt werden, welche Level innerhalb SA von den Systembeschreibungen beeinflusst werden. Darüber hinaus wurde die Auswirkung von Vertrauen und Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen in Abhängigkeit von der vorläufigen Systembeschreibung getestet.

**Mentales Modell:** In Orientierung an Beggiato and Krems (2013) wurde eine Interaktion zwischen der Systembeschreibung und dem Faktor Messzeitpunkt erwartet. Die Probanden mit korrekter Systembeschreibung hatten alle relevanten Informationen, die sie zum Aufbau eines korrekten mentalen Modells benötigten, somit sollte es keine Unterschiede zwischen dem real Erlebten und den eigenen Erwartungen geben und folglich auch keinen Wissenszuwachs. In der inkorrekten und der unvollständigen Bedingung hingegen wurde ein zunehmender Wissensanstieg über die Zeit erwartet. Denn in diesen beiden Bedingungen erlebten die Probanden einen Unterschied zwischen dem real Erlebten und den eigenen Erwartungen, die sie auf Grundlage der

Systembeschreibung aufgebaut hatten. Dieser Unterschied sollte dann größer sein, wenn den Probanden mit Hilfe der Systembeschreibung kein korrektes mentales Modell induziert wurde. Dieses Muster sollte sowohl für den Overall score als auch für die Auswertung der SAGAT Daten über jedes einzelne SA Level auftreten.

**Konfidenz:** Da es eine offene Frage ist, ob das Vertrauen in die Beantwortung von Wissensfragen tatsächlich mit der Konfidenz selbst korreliert (Talarico & Rubin, 2003), wird die Konfidenz in dieser Studie auf eine explorative Art und Weise analysiert.

**Vertrauen und Akzeptanz:** In Anlehnung an Beggiato and Krems (2013) wurde die Hypothese aufgestellt, dass Vertrauen und Akzeptanz umso geringer sind, je höher die Anzahl der in der Systembeschreibung genannten Systemgrenzen ist. In der korrekten Systembeschreibung waren die Systemgrenzen im vollen Umfang aufgezählt worden. In der inkorrekten Systembeschreibung gab es kaum Systemgrenzen. In der unvollständigen Systembeschreibung, wurden Punkte komplett weggelassen. Somit wurde von der Bedingung mit der korrekten Systembeschreibung erwartet, dass sie das geringste Vertrauen und die geringste Akzeptanz von hochautomatisierten Systemen im Vergleich zu den anderen beiden Bedingungen aufweisen wird. Trotz anfänglich geringem Vertrauen der Probanden mit der korrekten Systembeschreibung, wurde der stärkste Anstieg in Vertrauen und Akzeptanz für diese Bedingung erwartet. Grund für die Annahme war zum einen das größte Wachstumspotential für das Vertrauen und die Akzeptanz der Probanden, da sie zu Beginn der Messung die geringste Akzeptanz und das geringste Vertrauen in das System haben sollten. Zum anderen sollten die Probanden über die Zeit das System kennenlernen und ihr mentales Modell der erlebten Realität anpassen.

#### 4.1.4. Material und Methoden

**Probanden.** Es wurden 120 Probanden rekrutiert, davon waren 68 weiblich und 51 männlich. Eine Person machte keine Angaben. Die Probanden, von denen ein Teil Angestellte der Daimler AG waren, lagen im Alter zwischen 19 und 65 Jahren ( $M_{\text{Alter}} = 39.40$ ,  $SD_{\text{Alter}} = 11.78$ ). Alle Teilnehmer nahmen freiwillig an dem Experiment teil und erhielten eine Aufwandsentschädigung. 24.17% der Probanden hatten bereits Erfahrung mit hochautomatisierten Fahrzeugen, 45.83% hatten Erfahrungen mit geringer automatisierten Fahrfunktionen (zum Beispiel ACC) und 30% der Proband hatten keinerlei Erfahrung mit automatisierten Fahrfunktionen.

**Versuchsaufbau und Material.** Die Probanden wurden über Laptops (Lenovo P50 i7-6820HQ CPU @2.70GHz 2.70GHz, 16GB) und Kopfhörern mit Hilfe eines in SoSci Survey (Leiner, 2019) entwickelten Fragebogens durch den Versuch geführt. Zu Beginn beantworteten sie demographische Fragen, Fragen zur Technikaffinität (TA-EG; Karrer, Glaser, Clemens, & Bruder, 2009), eine verkürzte Version des BIG Five (BFI – 10; Rammstedt & John, 2007; Rammstedt, Kemper, Klein, Beierlein, & Kovalova, 2013) und einen Fragebogen zu Sensation Seeking (SSS - V; Zuckerman, Eysenck, & Eysenck, 1978). Ebenfalls innerhalb der SoSci Survey Umgebung, erhielten die Probanden die falsche, richtige oder unvollständige Systembeschreibung (siehe Anhang 1.B.1).

Auf den Systembeschreibungen basierend waren alle weiteren Fragen zu beantworten. Anhand eines Übungsblockes, konnten die Probanden den Ablauf des Experimentes üben bevor sie in die Beantwortung der in die Daten einfließenden Fragen starteten. Die Fragen das mentale Modell betreffend, waren in drei Fragenblöcke unterteilt. Der erste Frageblock beinhaltete Fragen zur wahrgenommenen Fahrumgebung (zum

Beispiel: „Was haben Sie gerade gesehen? Was ist passiert? “). Die Probanden bekamen mehrere Antwortmöglichkeiten, mit denen sie auf die Frage antworten konnten (Multiple Choice Test; zum Beispiel: „Ich wurde von einem roten Smart überholt.“). Im zweiten Block wurden Fragen zum Verständnis gestellt: „Was wird in den nächsten 2 min systemseitig geschehen?“. Auch hier bekamen die Probanden wieder eine Antwortauswahl (zum Beispiel: „Das System bremst für mich“). Der dritte und letzte Frageblock beinhaltete Fragen nach zukünftigen Aktionen. Was muss der Proband selbst tun, wenn die aus dem Video bekannte Situation weitergeht: „Was wird Ihre Aufgabe in den nächsten 2 min sein?“. Der Proband antwortete wieder über multiple Choice Antwortmöglichkeiten (zum Beispiel: „Das System übernimmt für mich alles Nötige.“).

Neben den Fragen zum mentalen Modell, beinhaltete das Befragungsmaterial Fragen zu Vertrauen (Jian, Bisantz, & Drury, 2000) und Akzeptanz (Van Der Laan et al., 1997).

Das Experiment bestand aus 5 Videos zum hochautomatisierten Fahren (siehe Abbildung 7).

In Bild 1A ist die Situation dargestellt, in der der Proband keine Systemgrenze erlebt. Bild 1B zeigt eine Situation, in der der Proband von einem anderen Fahrzeug geschnitten wird. Aufgrund eines zu geringen Abstandes zwischen Einscherer und dem eigenen Fahrzeug, würde das hochautomatisierte Fahrzeug zur Übernahme auffordern. Bild 1C zeigt die Situation, in der das Führungsfahrzeug wegfällt und der Proband zu einer Übernahmeaufforderung aufgefordert werden würde. Bild 1D zeigt die Systemgrenzen, bei der der Proband keine Fahrspuren mehr hat und das System wegen fehlender Querführungsinformationen den Fahrer zu Übernahme auffordern würde. Bild 1E zeigt die Situation, in dem ein havariertes Fahrzeug zum Teil auf der eigenen Spur steht. Da das eigene Fahrzeug innerhalb der eigenen Spur das Ausweichen übernimmt, stellt dieses Video keine Systemgrenze dar.

Somit zeigten drei der Videos eine Systemgrenze, die eine Übernahmeaufforderung durch den Fahrer zur Konsequenz hätte. Die Situation, in der nichts passierte (1A) und die Situation mit dem havarierten Fahrzeug (1E), erforderten hingegen keine Reaktion der Probanden. Die Videolänge wurde randomisiert um einem Gewöhnungseffekt vorzubeugen (2min, 1min und 30s).



A)



B)



C)



D)



E)

**Abbildung 7:** Stimulusmaterial bestehend aus 5 Situationen: (A) Keine Übernahme, (B) Einschersituation, (C) fehlendes Führungsfahrzeug, (D) fehlende Spurmarkierung, und (E) Havariertes Fahrzeug in der eigenen Spur.

### Unabhängige Variablen

**Systembeschreibung:** Die Probanden erhielten entweder eine Systembeschreibung mit korrektem Inhalt zu allen im Versuch erlebten Situationen oder eine Systembeschreibung mit unvollständigem Inhalt, in der Informationen zu den im Versuch erlebten Situationen fehlten. Die dritte Gruppe erhielt eine inkorrekte Information bezüglich der im Versuch erlebten Situationen (für Beispiele zu den einzelnen Gruppen siehe *Tabelle 1*).

*Tabelle 1: Beispiele der im Versuch genutzten Systembeschreibungen pro Bedingung*

<b>Bedingung System- beschreibung</b>	Inhalt Systembeschreibung
<b>Korrekt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Fahrerassistenzsystem benötigt immer ein vorausfahrendes Fahrzeug.</li> <li>• Bei zu geringem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug (z.B. durch ein Fahrzeug, das zwischen das eigene und dem vorausfahrenden Fahrzeug plötzlich einschert, um die Ausfahrt nicht zu verpassen) fordert das Fahrerassistenzsystem den Fahrer auf, das Fahrzeug zu übernehmen und deaktiviert sich.</li> </ul>
<b>Unvollständig</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• /</li> <li>• Bei zu geringem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug (z.B. durch ein Fahrzeug, das zwischen das eigene und dem vorausfahrenden Fahrzeug plötzlich einschert um die Ausfahrt nicht zu</li> </ul>

---

verpassen) fordert das Fahrerassistenzsystem den Fahrer auf, das Fahrzeug zu übernehmen und deaktiviert sich.

---

**Inkorrekt**

- Das Fahrerassistenzsystem benötigt kein vorausfahrendes Fahrzeug.
  - Das System funktioniert selbst bei geringem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug.
- 

**Notiz:** Die korrekte Bedingung beinhaltete alle relevanten Systeminformationen. Die unvollständige Bedingung hatte nicht alle Informationen, siehe im Beispiel die ersten Punkt. Die inkorrekte Bedingung hatte falsche Informationen über die Systemfunktionalität (vergleiche die Punkte der inkorrekten mit denen der korrekten aus dem in der Tabelle gezeigten Beispiel).

---

**Messzeitpunkt:** Während das Systemverstehen in Form von mentalen Modellen und auch die Konfidenz nach jeder präsentierten Fahrsituation abgefragt wurde, wurde die Daten für Vertrauen und Akzeptanz nur nach dem Lesen der Systembeschreibung und vor dem Beenden des Versuchs erhoben (siehe Abbildung 8).

### *Abhängige Variablen*

Als abhängige Variablen wurden das Systemverstehen in Form von mentalen Modellen, das Vertrauen in (Jian et al., 2000) und die Akzeptanz ( Van Der Laan et al., 1997) von hochautomatisierten Systemen untersucht.

**Systemverstehen:** Das Systemverstehen wurde mit Hilfe der drei SA Level und dem theoretischen Rahmen der SAGAT Methode gemessen (Level 1: Wahrnehmung, Level 2: Verständnis, Level 3: Projektion; Endsley, 1995b). Neben dem Gesamtscore (Aggregation über alle Level) wurde auch der Score pro Level betrachtet.

**Konfidenz:** Zu jeder Wissensfrage bezüglich des Systemverstehens wurde das Vertrauen des Probanden in seine eigene Antwort erhoben. Auch hier wurde neben dem Gesamtscore der Score pro Level betrachtet.

**Vertrauen:** Das Vertrauen wurde mit dem 12-Item Fragebogen von Jian et al. (2000) auf einer unidimensionalen Skala erhoben. Die Skala ging von 1 für „stimme gar nicht zu“ bis 7 „stimme voll zu“. Der Mittelwert der 12 Items wurde als Gesamtscore betrachtet. Eine im Rahmen dieses Experimentes durchgeführte Reliabilitätsanalyse ergab eine mittlere interne Validität für die Erhebung nach dem Lesen der Systembeschreibung und vor den Videos,  $\alpha = .65$ , und nach den Videos,  $\alpha = .66$ .

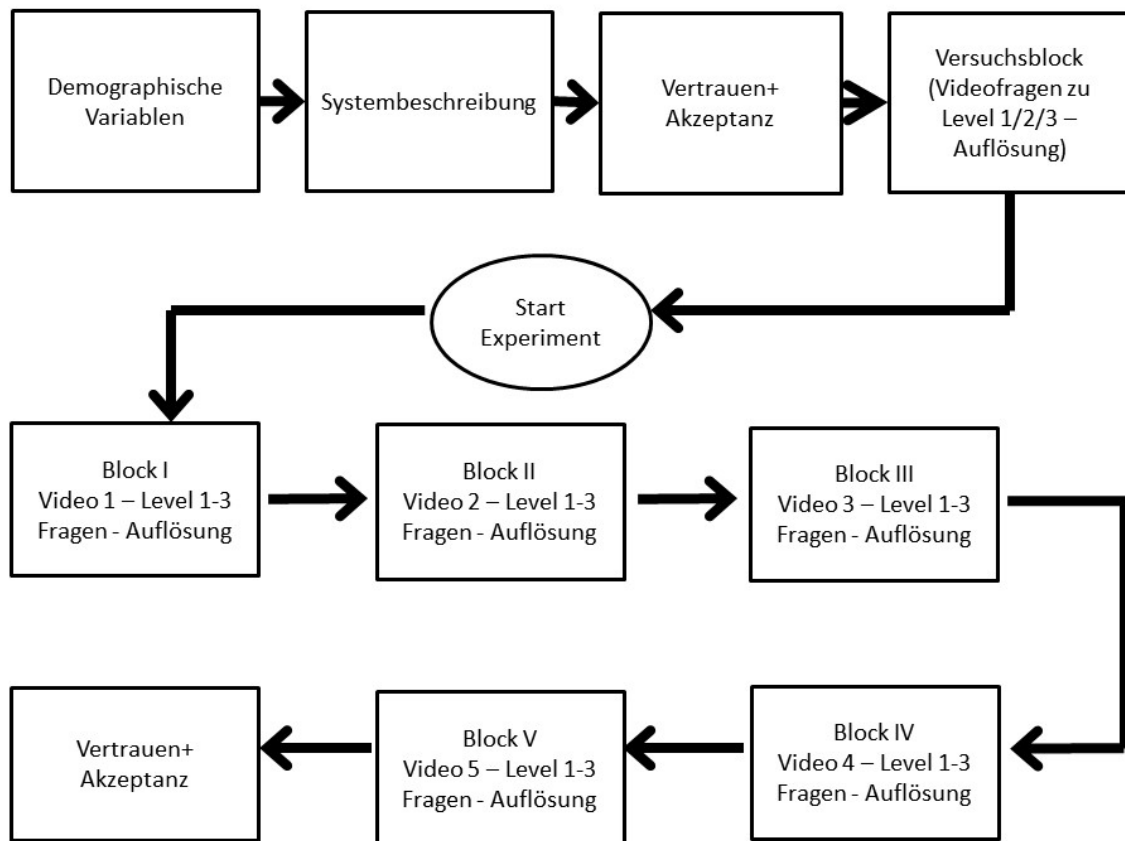
**Akzeptanz:** Die Akzeptanz wurde mit Hilfe einer 5 stufigen Ratingskala von Van der Van Der Laan et al. (1997) erhoben. Die beiden Akzeptanzdimensionen Nützlichkeit („Usefulness“) und Zufriedenheit („Satisfying“) bestehen in Summe aus 9 Items. Eine im Rahmen dieses Experimentes durchgeführte Reliabilitätsanalyse ergab eine akzeptable interne Validität für die Erhebung vor den Videos,  $\alpha = .69$ , und nach den Videos,  $\alpha = .70$ .

#### 4.1.5. Versuchsablauf

Nach der Ankunft im Befragungsraum unterschrieben die Probanden Formulare und beantworteten die demographischen Fragen. Im Anschluss bekamen sie die Systembeschreibungen. Nach dem Lesen der Systembeschreibung setzten sie die Kopfhörer auf und starteten den Online-Fragebogen, der sie durch den gesamten Versuch führte. Bevor die Videos starteten, beantworteten die Probanden die Fragen bezüglich Akzeptanz und Vertrauen zu dem in der Systembeschreibung vorgestellten hochautomatisierten System. Dann folgte ein Übungsblock, in dem sich die Probanden mit der Aufgabe und dem Ablauf des Experimentes vertraut machen konnten.



Das Experiment beinhaltete fünf Blöcke. Jeder Block wiederum beinhaltete ein Video mit einer bestimmten Situation eines hochautomatisierten Fahrzeuges (vergleiche Abbildung 7 und Abbildung 8) und einer bestimmten Präsentationsdauer (2 min, 1 min oder 30 s). Das Video wurde kurz vor der Übernahmeaufforderung gestoppt und nach einer Einfrierphase von 2 Sekunden abgebrochen. Im Anschluss beantworteten die Probanden Fragen zu den Videos bzgl. ihrer Wahrnehmung (Level 1; „Was haben Sie gerade gesehen? Was ist passiert?“), ihrem Verständnis (Level 2; „Nun versetzen Sie sich bitte in die Lage, was passieren wird, wenn Sie an dieser Stelle weiterfahren würden. – Was wird in den nächsten 2 min systemseitig geschehen?“) und einer Projektion der gesehenen Situation (Level 3; siehe Anhang 1.A.2). Die Probanden konnten anhand einer Reihe von Multiple-Choice-Fragen die passenden, binären Forced-Choice-Antworten auswählen. Zusätzlich bewerteten die Probanden auf einer 5-stufigen Likert-ähnlichen Skala wie sicher sie sich bei der Beantwortung der Fragen waren. Eine verkürzte Darstellung des gesehenen Videos diente zur Auflösung der Situation. Die Probanden konnten hier sehen, ob es zu einer Übernahme kam und was ihre Aufgabe gewesen wäre. Dies beendete den ersten Block und ein weiterer Block mit einem neuen Video folgte (siehe Abbildung 8). Nach allen 5 Videos und den Befragungsblöcken, wurden die Probanden erneut nach ihrem Vertrauen in und Akzeptanz von dem hochautomatisierten System befragt.



**Abbildung 8:** Schematische Darstellung des Versuchsablaufs.

Somit wurde zu 5 Messzeitpunkten das mentale Modell der Probanden erhoben und zu zwei Messzeitpunkten das Vertrauen und die Akzeptanz.

#### 4.1.6. Ergebnisse

Alle Daten wurden mit der Statistiksoftware R ausgewertet. Zur Auswertung der binomialen Daten aus den Fragebögen zu den mentalen Modellen wurde die library GLMEM (generalized linear mixed effects models) für binomiale Daten verwendet. Die restlichen Fragebögen wurden mit Hilfe von LMEM (linear mixed effects models) ausgewertet (lme4 Paket von Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015). Die p- Werte wurden mit Hilfe der Anova Funktion aus dem car Paket (Fox & Weisberg, 2011) ausgewertet.

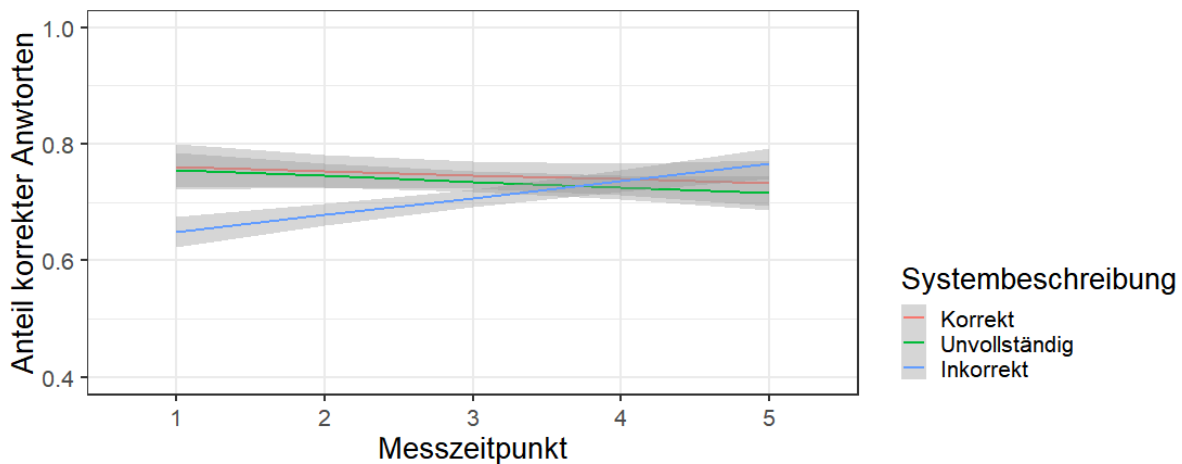
### *Mentale Modelle*

Die Anzahl korrekter Antworten stellte die abhängige Variable bei dem GLMEM dar und wurde als zusätzliche Variable pro Gruppe kodiert. Die Systembeschreibung (inkorrekte, unvollständige, korrekte Systeminformation) wie auch die Dauer des Experiments flossen als fixed effects in das Modell ein. Als random intercept Faktor sind die Probanden dem Modell beigefügt worden. Die Signifikanzprüfung des Modells fand mit Hilfe eines Type II Wald  $\chi^2$  Tests statt.

**Manipulationscheck.** Die Prüfung der Manipulation ist in Abbildung 9 graphisch nachzuvollziehen. Der erste Messzeitpunkt weist auf den vorhergesagten Unterschied in den mentalen Modellen hin. Die Gruppe mit den korrekten Beschreibungen hatte die meisten korrekten Antworten (76.92%), gefolgt von der Gruppe mit der unvollständigen Systembeschreibung 75.21% und der Gruppe der inkorrekten Systembeschreibung (61.54%),  $\chi^2(2) = 7.00, p < .05$ .

**Overall score.** Im Overall score zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen der Systembeschreibungen und der Dauer des Experiments,  $\chi^2(2) = 26.54, p < .001, R^2 = .203$ . Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, passten sich die mentalen Modelle der verschiedenen Gruppen (korrekt, inkorrekt, unvollständig) über die Zeit hinweg einander an. Probanden mit einem inkorrekten mentalen Modell zeigten den stärksten Lerneffekt. Probanden mit einem korrekten oder unvollständigen mentalen Modell beantworteten über die Zeit hinweg mehr Fragen falsch.

Es konnten weder für die Systembeschreibungen,  $\chi^2(2) = 5.51, p = .268$ , noch für die Dauer des Experiments,  $\chi^2(2) = 1.23, p = .064$ , Haupteffekte gefunden werden.



**Abbildung 9:** Anteil korrekter Antworten.

**Berechnung pro Level.** Zur genaueren Analyse der Ergebnisse unter Berücksichtigung verschiedener mentaler Modelle einer hochautomatisierten Fahrfunktion, wurden die gleichen Analysen pro Level, Wahrnehmung (Level 1), Verständnis (Level 2) und Projektion (Level 3), wiederholt.

#### *Level 1 - Wahrnehmung*

Für Fragen zur Wahrnehmung konnten keine signifikanten Ergebnisse gefunden werden. Weder die Interaktion zwischen Systembeschreibung und Dauer des Experiments,  $(2) = 1.64, p = .440, R^2 < .01$ , noch die jeweiligen Haupteffekte von Systembeschreibung,  $\chi^2(2) = 0.072, p = .965$ , und Dauer des Experiments,  $\chi^2(1) = 0.522, p = .470$ , wurden signifikant.

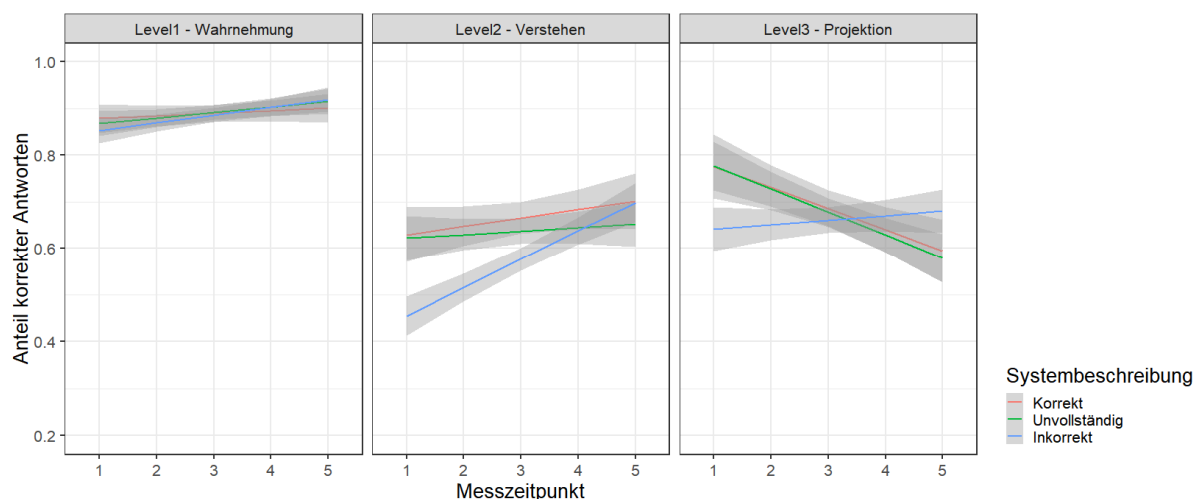
#### *Level 2 – Verständnis*

Für die Verständnisfragen konnte eine signifikante Interaktion nachgewiesen werden,  $\chi^2(2) = 12.26, p = .002, R^2 = .240$ . In Abbildung 10 ist ersichtlich, dass Pro-

banden mit dem falschen mentalen Modell den stärksten Lerneffekt zeigen. Die mentalen Modelle passen sich im Bezug auf das Verständnis über die Zeit hinweg einander an. Darüber hinaus waren die Haupteffekte für die Systembeschreibung,  $\chi^2(2) = 13.05$ ,  $p < .001$ , und Dauer des Experiments,  $\chi^2(1) = 55.89$ ,  $p < .001$ , signifikant.

### Level 3 – Projektion

Die Projektion zukünftiger Geschehnisse ist abhängig von der Interaktion zwischen Systembeschreibung und Dauer des Experiments,  $\chi^2(2) = 21.25$ ,  $p < .001$ ,  $R^2 = .192$ . Die Richtung der Interaktion ist Abbildung 10 zu entnehmen. Die Probanden mit dem falschen mentalen Modell zeigen eine verbesserte Projektionsfähigkeit über die Dauer des Experiments hinweg. Die Probanden mit dem korrekten oder dem unvollständigen mentalen Modell weisen hingegen auf eine Abnahme der Projektionsfähigkeit hin. Der Haupteffekt für den Faktor mentale Modelle war nicht signifikant,  $\chi^2(2) = .28$ ,  $p = .871$ . Der Haupteffekt für den Faktor Dauer des Experiments wurde signifikant,  $\chi^2(1) = 15.70$ ,  $p < .001$ .



**Abbildung 10:** Prozent korrekter Antworten in Abhängigkeit der SA Level und als Funktion aus Messzeitpunkt und Systembeschreibung.

**Konfidenz.** Die Probanden bewerteten nach jeder Frage, wie sicher sie sich bei der Beantwortung der Frage waren auf einer 5-stufigen Likert-ähnlichen Skala. Die Analyse orientierte sich an der zuvor durchgeführten Auswertung der mentalen Modelle mit der Änderung, dass nun auf ein LMEM zurückgegriffen wurde.

**Overall score.** Wie in Abbildung 11 zu erkennen, gewannen die Probanden über die Zeit hinweg Vertrauen in ihr eigenes Antwortverhalten,  $\chi^2(1) = 71.33$ ,  $p < .001$ ,  $R^2 = .407$ . Weder die Interaktion zwischen mentalem Modell und Dauer des Experiments,  $\chi^2(2) = 5.21$ ,  $p = .074$ , noch der Haupteffekt für Systembeschreibungen,  $\chi^2(2) = 0.75$ ,  $p = .688$ , wurde signifikant.

### **Berechnung pro Level.**

#### *Level 1 – Wahrnehmung*

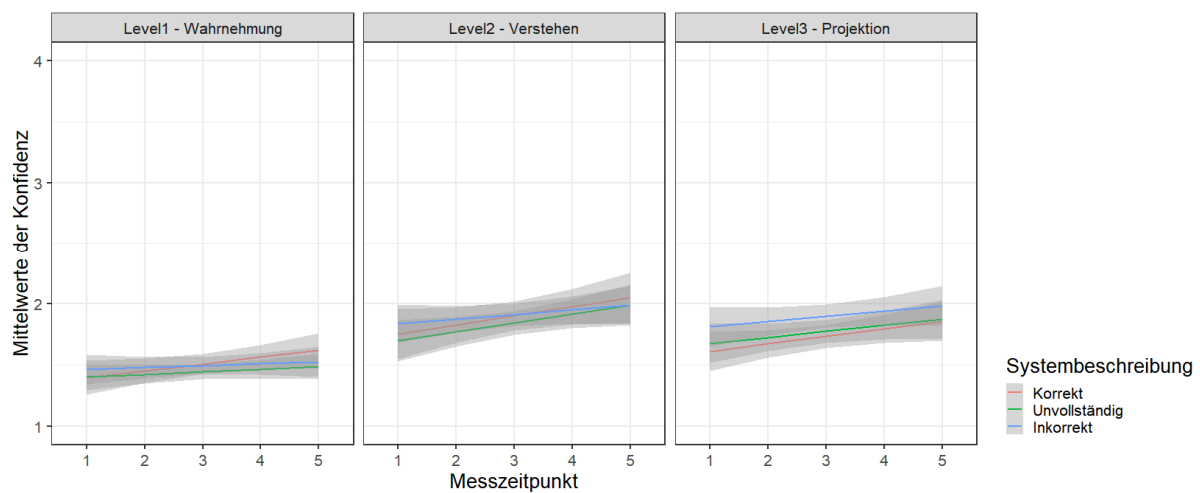
Das Vertrauen in das eigene Antwortverhalten stieg über die Dauer des Experiments signifikant,  $\chi^2(1) = 9.50$ ,  $p = .002$  (vergleiche Abbildung 11). Darüber hinaus ergab der Wald  $\chi^2$  Test weder eine signifikante Interaktion für das Vertrauen in das eigene Antwortverhalten abhängig von den Faktoren Systembeschreibung und Dauer des Experiments,  $\chi^2(2) = 3.26$ ,  $p = .196$ , noch ergab er einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Systembeschreibung,  $\chi^2(2) = 0.64$ ,  $p = .727$ .

#### *Level 2 – Verständnis*

Das Vertrauen in das Antwortverhalten stieg bei den Verständnisfragen über die Zeit hin signifikant an,  $\chi^2(1) = 40.42$ ,  $p < .001$  (vergleiche Abbildung 11). Das Vertrauen in die eigenen Antworten war nicht durch die Interaktion der Faktoren Systembeschreibung und Dauer des Experiments,  $\chi^2(2) = 3.27$ ,  $p = .195$ , und nicht durch den Faktor Systembeschreibung,  $\chi^2(2) = 0.38$ ,  $p = .827$ , bestimmt.

### Level 3 – Projektion

Das Vertrauen in das Antwortverhalten stieg bei den Projektionsfragen über die Zeit hin signifikant an,  $\chi^2(1) = 31.87$ ,  $p < .001$  (vergleiche Abbildung 11). Weder die Interaktion zwischen Systembeschreibung und Dauer des Experiments,  $\chi^2(2) = 0.72$ ,  $p = .697$ , noch der Haupteffekt für den Faktor Systembeschreibung,  $\chi^2(2) = 2.03$ ,  $p = .363$ , erklären das Vertrauen in das eigene Antwortverhalten.



**Abbildung 11:** Konfidenz in die eigene Antwort pro SA Level als Funktion der Systembeschreibung und des Messzeitpunktes.

### Systemvertrauen

Der Fragebogen von Jian et al. (2000) erzielte bei einer Reliabilitätsanalyse mittlere interne Validität für die erste,  $\alpha = .65$ , und zweite Messung,  $\alpha = .66$ .

Das Vertrauen wurde auf einer Likert-ähnlichen Skala von 1 für „stimme gar nicht zu“ bis 7 für „stimme voll zu“ gemessen. Hierfür wurde ein linear mixed-effects Modell mit den fixed effects Systembeschreibung und Messzeitpunkt (vor und nach

dem Experiment) aufgestellt. Die Probanden wurden als random intercept Faktor dem Modell beigefügt. Das Modell wurde mit Hilfe des Type II Wald  $\chi^2$  Tests auf Signifikanz geprüft.

*Tabelle 2: Der Einfluss von Messzeitpunkt und Systembeschreibung auf das Vertrauen in hochautomatisierte Fahrzeuge (1 = "geringes Vertrauen / Misstrauen", 7 = "hohes Vertrauen / Vertrauen".*

Systembeschreibung	Messzeitpunkt	Mittelwert	SD
Korrekt	Vorher	5.148	1.580
	Nachher	5.167	1.641
Unvollständig	Vorher	5.013	1.535
	Nachher	5.052	1.475
Inkorrekt	Vorher	4.759	1.428
	Nachher	5.00	1.582

*Anmerkung. „Vorher“ beziehungsweise „Nachher“ bezieht sich auf den Zeitpunkt des jeweiligen Messzeitpunktes vor beziehungsweise nach dem Betrachten des Videos.*



Es konnten keine signifikanten Effekte für das aufgestellte Modell gefunden werden. Weder die Interaktion zwischen Systembeschreibung und Messzeitpunkt,  $\chi^2(2) = 3.89$ ,  $p = .14$ , noch die Haupteffekte der Faktoren Systembeschreibung,  $\chi^2(2) = 2.59$ ,  $p = .27$ , und Dauer des Experiments,  $\chi^2(1) = 3.63$ ,  $p = .06$ , wurden signifikant.

### *Akzeptanz eines hochautomatisierten Fahrzeuges*

Der Fragebogen von Van Der Laan et al. (1997), erzielte bei einer Reliabilitätsanalyse akzeptable interne Validität für die „Satisfying scale“,  $\alpha = .69$ , und die „usefulness scale“,  $\alpha = .70$ .

Die Akzeptanz wurde auf einer bipolaren Ratingskala von -2 bis +2 gemessen. Für die Analysen wurde ein linear mixed-effects Modell mit den fixed effects Systembeschreibung und Messzeitpunkt (vor und nach dem Experiment) aufgestellt. Die Probanden wurden als random intercept Faktor dem Modell beigefügt. Das Modell wurde mit Hilfe des Type II Wald  $\chi^2$  Tests auf Signifikanz geprüft.

Die Analysen ergaben keinen signifikanten Einfluss der gewählten Faktoren auf die Akzeptanz in hochautomatisierte Fahrzeuge. Die Interaktion der Faktoren Systembeschreibung und Dauer des Experiments,  $\chi^2(2) = 0.23$ ,  $p = .892$ , wie auch die Haupteffekte der Faktoren Systembeschreibung,  $\chi^2(2) = 0.27$ ,  $p = .88$ , und Dauer des Experiments,  $\chi^2(1) = 0.10$ ,  $p = .750$ , wurden nicht signifikant.

*Tabelle 3: Der Effekt von Messzeitpunkt und Systembeschreibung auf die Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen.*

---

Skala	Systembeschreibung	Messzeitpunkt	Mittelwert	SD
Satisfying	Korrekt	Vorher	-.061	1.323
		Nachher	-.140	1.490
	Unvollständig	Vorher	-.100	1.172
		Nachher	-.106	1.247
	Inkorrekt	Vorher	-.079	1.160
		Nachher	-.039	1.234
Usefulness	Korrekt	Vorher	.449	1.254
		Nachher	.532	1.433
	Unvollständig	Vorher	.475	1.182
		Nachher	.385	1.206
	Inkorrekt	Vorher	.458	1.160
		Nachher	.405	1.190

*Anmerkung. „Vorher“ beziehungsweise „Nachher“ bezieht sich auf den Zeitpunkt des jeweiligen Messzeitpunktes vor beziehungsweise nach dem Betrachten des Videos.*

#### 4.1.7. Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde der Einfluss von Systembeschreibungen auf mentale Modelle hochautomatisierter Systeme im Rahmen von SA untersucht. Hierzu wurden die Probanden in drei Gruppen unterteilt. Jede Gruppe bekam eine andere Beschreibung der Systemfunktionen des hochautomatisierten Fahrzeuges (korrekt, inkorrekt oder unvollständig). In Anlehnung an die SAGAT Methode (Endsley, 1988a; Endsley, 1995) wurde mit Hilfe von Fragebögen, das Wissen über die Systeme vor und nach einer Präsentation eines Videos abgefragt. Auf diese Weise wurden das mentale Modell, die selbsteingeschätzte Korrektheit der Antwort (Konfidenzmaß) sowie das Vertrauen in und die Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen vor dem Video und nach dem Video gemessen (für eine genauere Darstellung des Ablaufs des Experiments siehe Abbildung 8). In dem Video wurden den Probanden Ausschnitte aus simulierten Fahrsituationen mit Automatisierungsgrenzen gezeigt. Als Alternative zum fehlenden Fahrerlebnis, wurde den Probanden im Anschluss an jeden Fragenblock, das Video komplett gezeigt. Die angenommene Interaktion zwischen der Systembeschreibung und dem Messzeitpunkt (vor und nach dem Video) konnte in dieser Studie bestätigt werden. Probanden, die eine inkorrekte Systembeschreibung erhalten hatten, hatten einen größeren Wissenszuwachs über den Versuch hinweg, als die Probanden der beiden anderen Konditionen (korrekt und unvollständig). Entgegen aller Erwartungen, nahm die auf SA Level 3 gemessene Leistung der Probanden mit unvollständigem und mit korrektem mentalen Modell über die Zeit ab. Level 3 stellt das höchste aller SA Level dar und kann nur erreicht werden, wenn Wissen über den Zustand und die Dynamik von Elementen in der Umwelt sowie das Verständnis der vorherrschenden Gesamtsituation besteht (Level 1 und Level 2) (Endsley, 1995b). Die Anzeichen für eine Übernahme-situation muss durch den Fahrer erkannt und in Rela-

tion zur aktuellen Situation und den Umgebungsfaktoren gesetzt werden, um anschließend situationsgerecht handeln zu können. Probanden mit dem korrekten und dem unvollständigen mentalen Modell waren zwar in der Lage, die aktuelle Situation zu verstehen, jedoch war es Ihnen nicht möglich, dieses Wissen in Bezug auf zukünftige Geschehnisse zu setzen, um anschließend situationsgerecht zu handeln. Das Anwenden von Wissen war den Probanden mit der unvollständigen und der korrekten Systembeschreibung nicht über die gesamte Dauer des Experimentes möglich. Die Abnahme ihrer Leistungen lässt darauf schließen, dass sie zwar zu Beginn das Wissen für zukünftige Situationen anwenden konnten, ihre Erinnerungsleistung jedoch mit der Zeit abnahm. Die Abnahme der Erinnerungsleistung kann auf eine weniger tiefe Verarbeitung der anfänglichen Systembeschreibung zurückgeführt werden. Probanden mit einem inkorrektem mentalen Modell müssen die inkorrekten Informationen hinterfragen und aktiv durch neue, korrekte und selbst erlebte Informationen ersetzen. Diese elaborierte Auseinandersetzung mit den Informationen aus der Systembeschreibung führte womöglich zu einer tieferen Verarbeitung verglichen mit der Verarbeitung der Probanden mit dem korrekten und dem unvollständigen mentalen Modell. Dies hatte zur Folge, dass sich die Probanden mit dem unvollständigen und dem korrekten mentalen Modell weniger lang an die Systembeschreibung erinnern konnten, ihr mentales Modell somit nicht so elaboriert war wie das der Probanden mit dem inkorrektem mentalen Modell. Probanden mit einer inkorrekten Systembeschreibung waren somit länger in der Lage, ein dem Systemverhalten entsprechendes Wissen zu generieren und dieses auch auf zukünftige Situationen projizieren zu können, als Probanden mit einer korrekten oder unvollständigen Systembeschreibung.

Der angenommene Unterschied zwischen der unvollständigen und der korrekten Instruktion konnte jedoch nicht gezeigt werden (vergleiche Beggiato & Krems, 2013).

Womöglich war der Unterschied zwischen den beiden Beschreibungen nicht groß genug und die unvollständige Systembeschreibung deckte die dargestellte Fahrsituation so ab, dass sie der richtigen Systembeschreibung nahezu entsprachen. Ein weiteres wichtiges Ergebnis war, dass die Wahrnehmungsverarbeitung unabhängig von der experimentellen Manipulation war. Dies deutet darauf hin, dass Wahrnehmungsprozesse nicht von Top-Down-Einflüssen beeinflusst werden (Firestone & Scholl, 2016). Im Hinblick auf das Konfidenzmaß haben die Probanden im Laufe der Zeit Vertrauen in ihre eigenen Antworten gewonnen. Das Vertrauen in die eigenen Antworten war jedoch unabhängig von den Systembeschreibungen. Darüber hinaus unterschieden sich weder das Vertrauen in noch die Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen aufgrund unterschiedlicher Systembeschreibungen.

### *Theoretische Implikation*

Im Folgenden werden die theoretischen Implikationen in Bezug auf Wissen, Vertrauen und Akzeptanz im Kontext von mentalen Modellen eines automatisiert fahrenden Fahrzeuges diskutiert.

**Systemverstehen.** Das Wissen über das Verhalten des Systems ist von zentraler Bedeutung für die Beschreibung und Antizipation des menschlichen Verhaltens im zukünftigen Straßenverkehr mit hochautomatisiert fahrenden Fahrzeugen. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass mentale Modelle über automatisierte Systeme konstruiert und modifiziert werden können, indem der Fahrer immer wieder mit bestimmten Fahrsituationen konfrontiert wird (Beggiato & Krems, 2013). Messungen, die das Entstehen eines mentalen Modells, dessen Nutzung und Aktualisierung beschreiben, sind in der Fachliteratur bislang nur schwer zu finden.

In der Studie von Beggiato and Krems (2013) wurden die Teilnehmer gebeten, einen Fragebogen auszufüllen, in dem sie nach spezifischen Funktionalitäten der Systeme gefragt wurden. In der nun hier vorliegenden Studie wurde die SAGAT-Methode verwendet, die es ermöglichte, die mit der Entstehung, Nutzung und Aktualisierung mentaler Modelle verbundenen Prozesse auf einer detaillierteren Ebene zu untersuchen als es bisher der Fall war. Mit dieser Methode konnte gezeigt werden, dass es bei der Beurteilung der Funktionen eines hochautomatisierten Systems primär um Verständnis- und Antizipationsprozesse geht.

Darüber hinaus konnte die Studie 1 die These von Beggiato and Krems (2013), dass ein Erleben der Funktionalität eines automatisierten Systems das mentale Modell aktualisiert, eingrenzen. In der Studie 1 fand eine Aktualisierung des mentalen Modells auch ohne ein konkretes Erleben der Fahrsituation statt. So zeigten die Probanden in der Bedingung mit inkorrekt Systembeschreibung eine steilen Lernverlauf trotz fehlendem Fahrerlebnis. Dennoch sollte eine Studie, die ein konkretes Erleben einer Fahrsituation in einem realen Fahrzeug ermöglicht, im Vergleich zu der in der vorliegenden Studie verwendeten SAGAT-Methode, eine größere ökologische Validität aufweisen.

Obwohl die Literatur gezeigt hat, dass mentale Modelle das Lernen erleichtern können, insbesondere wenn die Struktur des neuen Lernens mit dem Modell übereinstimmt (Kieras & Susan Bovair, 1984), muss auch ein auf logischer Schlussfolgerung basierender Lernprozess in Betracht gezogen werden. So können Menschen entscheiden, ob eine Kartoffel oder ein Kartoffelchip weiter geworfen werden kann ohne es je selbst versucht zu haben. Die Fähigkeit von Menschen, Ereignisse abzuleiten und vorherzusagen, geht weit über ihre direkte Erfahrung hinaus.

Die Ergebnisse dieser Studie, verglichen mit den Ergebnissen von Beggiato and Krems (2013), spiegeln die Diskussion über das Konzept des mentalen Modells wider.

Laut Gentner (2002) gibt es zwei verschiedene Hauptansätze, die für das Verstehen von mentalen Modellen hilfreich sind. Ein Ansatz konzentriert sich auf die Charakterisierung von Wissen und Prozessen, die das Verständnis und die Argumentation in wissensreichen Bereichen unterstützen. Der andere Ansatz definiert mentale Modelle als Arbeitsspeicher, der logisches Denken unterstützt (zum Beispiel Johnson-Laird, 1983a). Es gibt Hinweise darauf, dass langfristige kausale mentale Modelle den Arbeitsspeicher beeinflussen können, indem sie eine beschleunigte Aufgabenerfüllung ermöglichen (Hegarty & Just, 1993; Schwartz & Black, 1996). Während die Ergebnisse von Beggiato and Krems (2013) auf den ersten, eher wissensbasierten Ansatz verweisen, passen die in Studie 1 gezeigten Ergebnisse zu beiden Ansätzen. Es konnte gezeigt werden, dass das mentale Modell von der Systembeschreibung abhängig ist, jedoch nur in Situationen, die Verständnis voraussetzen und Projektion einer Situation in die Zukunft erfordern. Folglich ist zum einen konkretes, anwendbares Wissen notwendig, zum anderen auch schnelles Handeln. Es wird also auf Wissensstrukturen zurückgegriffen, die sowohl inhaltlich als auch prozessorientiert die Reaktionssteuerung unterstützen.

**Vertrauen und Akzeptanz.** Neben der Messung des mentalen Modells des Probanden und dessen Konfidenz, wurde auch das Vertrauen und die Akzeptanz der Systemfunktionalität eines hochautomatisierten Fahrzeugs gemessen. Da geringes Vertrauen zu Missbrauch führen kann und hohes Vertrauen zu Übervertrauen, sollte das Vertrauen bei der Untersuchung von mentalen Modellen von automatisierten Fahrzeugen nicht vernachlässigt werden (zum Beispiel automatische Alarmsysteme, Dixon, Wickens, & McCarley, 2006; Parasuraman, Hancock, & Olofinboba, 1997).

Während Beggiato and Krems (2013) die Bedeutung von Vertrauen und Akzeptanz bei teil-automatisiert fahrenden Fahrzeugen berichteten, konnten in dieser Studie

keine nennenswerten Auswirkungen auf die Zeit oder Systembeschreibung für hoch-automatisierte Fahrzeuge nachgewiesen werden. Eine Möglichkeit für die abweichenden Ergebnisse ist der Unterschied in der Automation. Beggiato and Krems (2013) untersuchten teil-automatisierte Funktionen und diese Studie untersuchte höhere Automationsfunktionen. Eine weitere Möglichkeit für die unterschiedlichen Ergebnisse beider Studien könnte sein, dass Beggiato and Krems (2013) vier Messzeiten hatten, in der vorliegenden Studie lediglich zwei genutzt wurden (vor und nach dem Video). Dieses Fehlen von zusätzlichen Daten könnte Einfluss auf die Ergebnisse gehabt haben. Da die Probanden anstatt die Situation selbst zu beobachten oder zu erleben, Videos anschauten, haben sich die Probanden nie zweimal in der gleichen Situation befunden. Obwohl das tatsächliche Fahrerlebnis möglicherweise keine zusätzlichen Auswirkungen auf die Entwicklung von mentalen Modellen hat, wirkt sich das Fahrerlebnis womöglich auf die Entwicklung des Vertrauens und der Akzeptanz aus.

Dennoch wird die Relevanz der Faktoren Akzeptanz und Vertrauen in der Literatur diskutiert und sollte aus diesem Grund weiterhin in Studien zum Thema (hoch-)automatisiertes Fahren und Fahrerverhalten untersucht werden (zum Beispiel Kazi, Stanton, Young, & Harrison, D. A.; Rajaonah, Tricot, Anceaux, & Millot, 2008).

#### 4.1.8. Methodische Implikationen und weitere Forschung

Neben der Diskussion um Theorieansätze für weitere, auf dieser Studie basierenden Experimenten, müssen die Messmethoden, mit denen mentale Modelle gemessen werden, hinterfragt werden. So nutzten Beggiato and Krems (2013) einen selbstentwickelten und in einem Vortest standardisierten Fragebogen. In der oben beschriebenen Studie 1 konnte jedoch aufgrund einer fortgeschrittenen Automatisie-



rungsstufe nicht auf dieses Messinstrument zurückgegriffen werden. Die Fragen hätten aufgrund der geänderten Automationslevel umgeschrieben werden müssen, was keine Vergleichbarkeit gewährleistet hätte. Dies führte dazu, dass auf den Automatisierungsgrad der Studie 1 angepasste Fragen formuliert wurden, die mit der theoretischen Grundlage der SAGAT Methode (Endsley, 1988a; Endsley, 1995) angewandt wurden. Allerdings bedeutet das für weitere Studien, dass auch sie wieder dem Automationsgrad angepasste Fragen entwickeln müssen und somit der Vergleich über die Automatisierungsgrade genauso eingeschränkt bleibt wie die ausgereifte Entwicklung eines passenden Befragungsinstrumentes. Aus diesem Grund wird empfohlen, eine flexiblere Messmethode zu entwickeln, die nicht bereits nach wenigen Jahren oder Monaten unzeitgemäß ist und keine Vergleichbarkeit über verschiedene Automationslevel hinweg ermöglicht.

**SAGAT und Situation Awareness.** Die am häufigsten genutzte Definition von Situation Awareness stammt von Endsley (1995b). Dennoch wird das Konzept der SA in der Literatur diskutiert (siehe zum Beispiel Breton & Rousseau, 2001; für eine systematische Klassifizierung von SA-Definitionen; Wickens, 1996a, ft. 1). Die oben aufgeführte Problematik der Verallgemeinerung der Ergebnisse ist auch für diese Studie nicht gegeben, da die Nutzung der SAGAT Methode (Endsley, 1988a) und die selbstentworfenen Fragen zu einem möglichen, technischen Regler für (hoch-) automatisiertes Fahren die Verallgemeinerung der Ergebnisse einschränken. Ein weiteres Beharren auf wenig flexiblen Messmethoden wie Befragungen zu mentalen Modellen eines hochkomplexen technischen Systems, hätte zur Folge, dass jedes Experiment und jeder Fortschritt der Technik, zu einer Anpassung der Messmethode führt. Dies würde eine Verringerung der Vergleichbarkeit und der Verallgemeinerung der Ergebnisse nach sich ziehen.

Darüber hinaus wird in der Literatur diskutiert, ob Vertrauen, SA und Beanspruchung praktikable Konzepte sind, sich der Erforschung des Fahrverhaltens zu nähern (vergleiche Dekker & Hollnagel, 2004 und Parasuraman et al., 2008). So verbinden Dekker and Hollnagel (2004) mit dem Konzept SA etwas individuell Interpretierbares und sprechen daher von folk models (Dekker & Hollnagel, 2004). Die Autoren postulieren, dass SA nur mit Hilfe anderer, noch nicht erklärbarer Phänomene oder Konstrukte definiert wird. Außerdem bemängeln Dekker and Hollnagel (2004) eine fehlende empirische Grundlage. Parasuraman et al., 2008 argumentieren hingegen, dass SA, Beanspruchung und Vertrauen im engen Zusammenhang mit Informationsverarbeitungsprozessen assoziiert sind.

Neben dieser Diskussion muss auch die von Beggiato and Krems (2013) gewählte Messmethode bezogen auf die Antwortmöglichkeiten in der Befragung diskutiert werden. Beggiato and Krems (2013) ließen die Teilnehmer Fragen zu einer Likert-ähnlichen Skala mit sechs Punkten beantworten. Diese Skalenwahl war nicht notwendig, da die Fragen ebenso gut mit einem Ja oder Nein zu beantworten waren. An dieser Stelle trotzdem eine Skala zu wählen kann bei den Probanden zu einer Unsicherheit in der Beantwortung der Fragen geführt haben, was wiederum in den Daten zu einem Rauschen geführt haben könnte. Es wird angenommen, dass aufgrund der Unsicherheit, die Konfidenz in die Beantwortung der Fragen miteingeflossen ist. Das hätte eine mangelnde Trennschärfe zur Folge und würde das Ergebnis beeinflussen können. In der hier vorliegenden Studie 1 hingegen, wurde ein dichotomes Ja / Nein Antwortverhalten genutzt, die um eine Fünf-Punkte Likert-ähnliche Skala zur Konfidenzeinschätzung ergänzt wurde. Auf diese Weise war eine Trennung zwischen Antwort auf die gestellte Frage und dem Konfidenzmaß möglich (vergleiche Abbildung 11).

#### 4.1.9. Fazit

Die in Studie 1 vorgestellten Daten bieten neue Einblicke in die Wirkung von Systembeschreibung eines hochautomatisierten Fahrzeugs. Es konnte gezeigt werden, dass der Einfluss von Systembeschreibungen auf das Verständnis der aktuellen Situation und der Projektion auf zukünftige Situationen, einen großen Einfluss hat. Diese Studie liefert auf Grundlage neuer methodischer Anwendungen und Ausarbeitungen neue Einblicke in die Erforschung menschlicher Informationsverarbeitungsprozesse beim hochautomatisierten Fahren. Der Einfluss einer falschen Vorabinformation ist groß, da die Probanden zwar über den Zeitverlauf des Experimentes ein steiles Lernverhalten zeigten, jedoch die Informationen der dargebotenen Systeminformationen als mentales Modell gespeichert hatten und anwandten. Dies stellt vor allem zu Beginn einer Fahrt mit einem hochautomatisierten System ein erhöhtes Unfallrisiko dar.

Jedoch sind das Vertrauen und die Akzeptanz von hochautomatisierten Systemen unabhängig von der Systembeschreibung.

Somit kann das verbalisierbare Wissen, von den Systembeschreibungen beeinflusst, zu korrekten, aber auch zu unvollständigen oder sogar inkorrekten mentalen Modellen führen. Das Wissen, welches jedoch nicht verbalisierbar ist und dementsprechend in einer Abfrage über subjektive Methoden wie einer Befragung über einen Fragebogen nicht gemessen werden kann, konnte in dieser Studie nicht berücksichtigt werden. Allerdings könnte auch das nicht verbalisierbare Wissen einen erhöhten Einfluss auf die Informationsverarbeitung beim Fahren haben und sollte in Folgestudien berücksichtigt werden.

## 4.2. Studie 2

Die Studie 2 wurde 2019 als Multi-Phase Study unter dem Titel „The Evolution of Mental Models in Relation to Initial Information and Perceptual Processing While Driving Automated“ beim Journal Transportation Research Part F eingereicht (vergleiche Blömacher, Nöcker, & Huff, 2019, submitted).

Da das Experiment 1 aus Studie 2 direkte Implikationen für Studie 2 Experiment 2 lieferte, werden die beiden Experimente im Folgenden gemeinschaftlich berichtet.

### 4.2.1. Zusammenfassender Überblick Studie 2 Experiment 1 und 2

Im Folgenden wird auf zwei Studien eingegangen, die mentale Modelle während einer hochautomatisierten Fahrt im Fahrsimulator untersuchten um zu den Match beziehungsweise Mismatch zwischen Situationsmodell (erlebter Situation) und mentalem Modell (siehe Abbildung 6) genauere Aussagen treffen zu können. Hierfür wurde mit Hilfe von Systembeschreibungen ein mentales Modell aufgebaut (vergleiche Beggiato & Krems, 2013; Blömacher et al., 2018). Dessen Einfluss auf mentale Prozesse während der hochautomatisierten Fahrt wurde mit einer visuellen (PDT; zum Beispiel Jahn et al., 2005; Bloemacher et al., 2015) und einer taktilen (TDRT; (Ranney et al., 2014b) Detektionsaufgabe bestimmt. Subjektive Messungen über das Vertrauen in die Akzeptanz von und das Wissen über das automatisierte System sollen die Argumentationen auf Grundlage der objektiven Messungen stützen. Die Ergebnisse ergaben, dass die mentalen Modelle während einer hochautomatisierten Fahrt mit einer visuellen Detektionsaufgabe entsprechend sensitiv gemessen werden können und Aussagen über mentale Modelle während einer hochautomatisierten Fahrt ermöglichen. So

war es möglich, den Einfluss der in den Vorabbeschreibungen induzierten Unterschiede mit Hilfe der RT darzustellen. Während die Effektrichtungen und die Unterschiede in den beiden Messmethoden (visuell vs. taktil) in Studie 1 noch unerwartet und lediglich über eine Arbeitshypothese zu erklären waren, konnte in Studie 2 Experiment 1 gezeigt werden, dass die PDT ein valides und sensibles Messinstrument zur Erforschung mentaler Modelle im Bereich hochautomatisiertes Fahren ist. Studie 2 Experiment 2 hob hervor, dass bereits die Einschaltphase, also der erste Berührungspunkt, den ein Fahrer mit dem System hat, einen Einfluss auf das Lernverhalten und die daraus resultierenden mentalen Prozesse beim hochautomatisierten Fahren hat. Die Fahraufgabe besteht somit nicht nur in dem Abfangen von Systemgrenzen, sondern bereits das Einschalten des Systems hat einen Einfluss auf das mentale Modell, dessen Aktualisierung und folglich das weitere Fahrverhalten. Beide Fahraufgaben sollten demnach separat und präzise beschrieben werden. Für weitere Studien sollten eine Aufteilung und eine separate Betrachtung beider Prozesse stattfinden.

#### 4.2.2. Einleitung Studie 2

Seit die Fahrzeugführung und die Verantwortung zwischen einem Menschen und einem automatisierten System aufgeteilt werden kann, aber vor allem seit dem fatalen Unfall, in den ein Tesla Model S mit Autopilot involviert war (Thompson, C., 2017), ist das Interesse in ein vollumfängliches Systemverstehen gestiegen. Aufgrund der Fortschritte und der aktuellen Geschehnisse ist das Verstehen von automatisierten Fahrfunktionen immer wichtiger geworden. In dynamischen realen Fahrumgebungen ist das Erstellen eines mentalen Modells und das ständige Aktualisieren dieses Modells eine anspruchsvolle Aufgabe (Beggiato & Krems, 2013).

Neben anderen beschäftigten sich auch Beggiato and Krems (2013) sowie Blömacher et al. (2018) mit der Frage, wie Wissen über Fahrzeugfunktionen und Systemgrenzen in Form von mentalen Modellen das Fahrverhalten und stattfindende Informationsverarbeitende Prozesse beeinflussen kann. Während Beggiato and Krems (2013) versuchten herauszufinden, ob eine Systembeschreibung Wirkung auf das Fahrverhalten und den Lernprozess beim teilautomatisierten System hat, haben Blömacher et al. (2018) die Ergebnisse teilweise für hochautomatisierte Fahrzeuge replizieren können. Zwar nutzten beide Forschungsgruppen unterschiedliche Messmethoden, jedoch waren sie in jedem Fall subjektiv. Die Berücksichtigung einer zeitaktuellen, objektiven Messmethode im Bereich automatisiertes Fahren war bislang unberücksichtigt geblieben.

Deshalb war ein Ziel dieser Studie, eine objektive, zeitaktuelle Methode zu finden, die sensitiv genug ist, den Einfluss von Systembeschreibungen auf die Bildung und Aktualisierung von mentalen Modellen darstellen zu können. Die allgemeine theoretische Grundlage orientiert sich an Studien über Aufmerksamkeit, zum Beispiel Ressourcenmodelle, Situationsbewusstsein (Situation Awareness; SA) und die Rolle von mentalen Modellen im Zusammenhang mit hochautomatisiertem Fahren.

### *Aufmerksamkeit und Beanspruchung (Workload)*

Das Autofahren ist eine überwiegend visuelle Aufgabe (Cohen & Hirsing, 1991; Sivak, 1996). Mit Bezug auf das multiple Ressourcenmodell (Wickens, 2002b; Wickens, 2008) ist die Interferenz hoch, wenn eine gleichzeitige sekundäre Aufgabe die gleichen Ressourcen wie die primäre Aufgabe verwendet. Folglich kann eine sekundäre Aufgabe, die visuelle Ressourcen nutzt, zu starken Interferenzen mit der Fahraufgabe führen, die zu weiteren kognitiven Prozessen mit Beeinträchtigung führen. In

diesem Zusammenhang wird häufig das Konzept der Beanspruchung (Workloads) herangezogen, welches als Auswirkung der "amount of information processing capacity that is used for task performance.", definiert wird (DeWaard, 1996, S. 15).

### *Mentale Modelle und Situationsbewusstsein*

Die heute fahrenden oder geplanten Fahrzeuge sind nicht vollkommen automatisiert. Das bedeutet, dass es Systemgrenzen gibt, die dadurch charakterisiert sind, dass der Autofahrer das Fahrzeug übernehmen muss. Eine Methode, sich solcher Systemgrenzen bewusst zu werden, ist die Betriebsanleitung zu lesen (vergleiche Blömacher et al., 2018; Beggiato & Krems, 2013).

Blömacher et al. (2018) und Beggiato and Krems (2013) konnten in ihren Studien zeigen, dass sich abhängig von den Systembeschreibungen über ein automatisiertes System, die gebildeten mentale Modelle unterscheiden.

Beide Forschungsgruppen wiesen ebenfalls darauf hin, dass mentale Modelle im Bereich automatisiertes Fahren mehr als nur simples Faktenwissen sind. Mentale Modelle beinhalten beim automatisierten Fahren das Ableiten, Übertragen und Anwenden von Wissen in bestimmten Situationen und unter bestimmten Voraussetzungen beziehungsweise in verschiedensten Umgebungen (zum Beispiel Regen versus Sonnenschein). Zudem haben Bottom-Up Informationen aus der Umwelt einen Einfluss auf die Aktivierung von assoziierten Top-Down Langzeitgedächtnisstrukturen (zum Beispiel mentalen Modellen), die dann wiederum bei der Interpretation der Bottom-Up Informationen unterstützen (Durso, Rawson, & Giroto, 2007).

Die Relevanz von Systemverstehen steigt mit zunehmender Automatisierung der Fahrzeuge. Daraus folgt, dass das Konzept der mentalen Modelle ebenfalls an Einfluss bei der Erforschung von Systemverstehen gewinnt. Die neuen Methoden zu Entwicklung von autonomen oder hochautomatisierten Fahrzeugen (zum Beispiel

deep-learning Techniken) kreieren eine facettenreiche Systemlogik, die die Erforschung von mentalen Modellen vor eine Herausforderung stellt (U.S. Air Force, 2015).

### *Vertrauen und Akzeptanz*

Das Vertrauen in und die Akzeptanz von automatisierten Systemen ist zur Einführung von solchen Fahrzeugen grundlegend (zum Beispiel Madigan, Louw, Wilbrink, Schieben, & Merat, 2017; König & Neumayr, 2017). Vertrauen und Akzeptanz von automatisierten Systemen erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass diese auch genutzt werden. Zum Beispiel spielt sowohl Vertrauen, als auch Akzeptanz eine große Rolle bei der Frage nach Misuse, dem übermäßigen Vertrauen in die Automatisierung, und Disuse, dem Vernachlässigen von Automation, von automatisierten Systemen (Lee & See, 2004; Kazi et al.). Die Vorhersagbarkeit von Fehlern beeinflusst das Vertrauen stärker, als die Höhe an Fehlern (Lee & See, 2004; Hergeth et al., 2016).

Ähnlich wie Vertrauen muss eine gewisse Akzeptanz solcher automatisierten Systeme durch den Fahrer gegeben sein, damit er diese auch nutzt (Najm et al., 2006). Eine fehlende, allgemeingültige Definition und ein hoher Einfluss subjektive Faktoren (Ghazizadeh et al., 2012), erschweren die Untersuchung von Akzeptanz.

### *Experimenteller Überblick: Aufbau und Aktualisierung mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren*

Zum besseren Verständnis der Hypothesen, wird das Gedankenmodell, das diesen Hypothesen zu Grunde liegt und bereits mit Abbildung 6 erläutert wurde, nachfolgend kurz erneut dargestellt (für weitere Inhalte siehe Abschnitt 3).



Grundlage des Modells ist die Annahme, dass Wissen über das automatisierte System, das Fahrverhalten beeinflusst und dieses in Form von mentalen Modellen gespeichert wird.

Die Vorabinformation induziert das jeweilige mentale Modell. Während der Fahrt findet ein Matching Prozess zwischen mentalem Modell und der erlebten Situation statt und führt zu einem Anstieg oder einem Abfall an mentaler Beanspruchung, was wiederum mit Hilfe einer Detektionsaufgabe gemessen werden kann. Folglich sind die RT für die Probanden mit einer korrekten Systembeschreibung und somit einem korrekten mentalen Modell zu dem System, kürzer verglichen mit Probanden mit einer inkorrekten Vorabinformation und somit einem inkorrekten mentalen Modell.

#### 4.3. Studie 2 Experiment 1

Studie 2 Experiment 1: Ist eine Detektionsaufgabe zur Messung von mentalen Modellen während des hochautomatisierten Fahrens eine passende und sensitive Methode? Die Studie wurde 2019 unter dem Titel „The evolution of mental model in relation to initial information and perceptual processing while driving automated“ im Journal Transportation Research Part F (vergleiche Blömacher, Nöcker, & Huff, 2019) eingereicht.

#### *Zusammenfassung Studie 2 Experiment 1*

**Ziel:** Die Untersuchung der Fragestellung, ob der Einfluss von Systembeschreibungen und Fahrerfahrung auf das mentale Modell eines hochautomatisierten Fahrzeuges anhand von objektiven Daten gemessen und die Ergebnisse aus Studie 1 repliziert werden können.

**Hintergrund:** Der Einfluss von Systembeschreibungen den Aufbau und die Aktualisierung von mentalen Modellen eines hochautomatisierten Fahrzeuges konnte in Studie 1 mit Hilfe von subjektiven Messmethoden aufgezeigt werden. Bislang fehlt es an Studien für hochautomatisierte Fahrzeuge, die diesen Einfluss mit objektiven Messungen untersuchen.

**Methode:** Für das Experiment wurden 55 Probanden rekrutiert und in zwei Gruppen aufgeteilt. Sie bekamen entweder eine korrekte oder inkorrekte Beschreibung eines hochautomatisierten Fahrzeuges. Während ihrer Fahrt im Simulator bearbeiteten sie eine visuelle (PDT) und eine taktile (TDRT) Zweitaufgabe und erlebten in Summe vier Übernahme-situationen. Zusätzlich zu den so erzeugten objektiven Messungen, wurde das mentale Modell mit Hilfe eines Fragebogens abgefragt. Daten zu Vertrauen und Akzeptanz wurden wie die Fragebögen zu mentalen Modellen vor der Fahrt im Fahr-simulator und danach erhoben.

**Ergebnisse:** Die Ergebnisse unterschieden sich abhängig von der Messmethode. Mit Hilfe der subjektiven Messmethode wurde die gelungene Manipulation mentaler Modelle nicht sichtbar und die Probanden mit der korrekten Systembeschreibung zeigten den steileren Wissenszuwachs. Die objektiven Messmethoden wiesen jedoch daraufhin, dass die Induzierung verschiedener mentaler Modelle über die Systembeschreibung funktioniert hatte. Probanden zeigten gemessen mit der PDT ein Konvergieren der RT der korrekten und inkorrekten Bedingung. Dieses Ergebnis konnte mit Hilfe der TDRT nicht gezeigt werden. Jedoch waren die RT der Probanden mit der inkorrekten Systembeschreibung gemessen mit der TDRT langsamer als Probanden mit der korrekten Systembeschreibung. Dieses Ergebnis konnte wiederum mit der Hilfe der PDT nicht gezeigt werden. Ein Anstieg an Vertrauen über die Zeit war nachweisbar. Jedoch konnten keine Effekte für die Akzeptanz gefunden werden.

**Fazit:** Verschiedene Messmethoden führen zu verschiedenen Ergebnissen, die eingehend diskutiert und bewertet werden müssen. Eine objektive Messmethode muss unter Beachtung theoretischer Grundlagen an das Versuchsdesign angepasst werden. Das Vertrauen in hochautomatisierte Systeme nimmt mit der Dauer der Nutzung zu.

**Anwendung:** Eine objektive Messmethode kann eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse liefern, sodass Ergebnisse über Studien und Versuchsdesign hinweg verglichen werden können.

*Schlüsselwörter:* Hochautomatisiertes Fahren, mentale Modelle, Vertrauen, Akzeptanz, Simulatorstudie

#### 4.3.1. Methode

##### **Probanden**

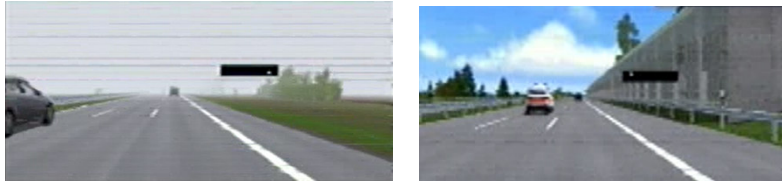
Die Stichprobe bestand aus 54 Probanden (25 weiblich, 29 männlich) zwischen 20 und 59 Jahren mit einem durchschnittlichen Alter von 37.72 Jahren (SD= 11.74 Jahren). Alle Probanden nahmen freiwillig an dem Experiment teil und bekamen hierfür eine Aufwandsentschädigung.

##### **Material und experimentelles Design**

Die Studie wurde in einem fixed-base Simulator mit vier Canon WUX10 Projektoren und einer Auflösung von 1920 x 1200 Pixeln durchgeführt.

##### **Stimulusmaterial**

Die Probanden erlebten vier Übernahmesituationen, zwei für jede Messmethode (PDT und TDRT). Sie hatten entweder Nebel oder verloren das vorausfahrende Fahrzeug, als dieses plötzlich beschleunigte.



A



B

**Abbildung 12:** Erlebte Situationen. A Situationen mit PDT. B Situationen mit TDRT.

### *Unabhängige Variablen*

**Systembeschreibung:** Das anfängliche mentale Modell wurde durch verschiedene Systembeschreibungen induziert. Die Teilnehmer erhielten entweder korrekte oder inkorrekte Informationen, die für alle dargestellten Fahrsituationen relevant sind (für ein Beispiel siehe Tabelle 4).

Aufgrund spezieller technischer Merkmale zur Aktivierung des hochautomatisierten Systems begann die Beschreibung mit der Erläuterung der DISTRONIC, einem Level 2 System (SAE International, 2014). Danach wurde das hochautomatisierte System (Level 3, SAE International, 2014) beschrieben. Die Systembeschreibung der korrek-

ten und der inkorrekten Bedingung unterschied sich darin, dass die inkorrekte Bedingung weniger Systemgrenzen enthielt, als die Bedingung mit der korrekten Systembeschreibung.

*Tabelle 4: Unterschiede zwischen den Systembeschreibungen.*

Bedingung	$V_{max}$	TT	Aktiv	Aktiv	System-	System-	Übernahme			
		C	(Icon)	(Aktion)	grenze I	grenze II				
		[m]								
Korrekt	105	50	White	Kein Gas, Kein Bremsen, Kein Lenken, Aber Ein-/Aus-	Gas, Funktioniert nicht bei Nebel	Funktioniert nicht bei Nebel	Benötigt Fahrzeug	Vo-	Falls	Sys-
System-	km/	m							temgrenze	
beschrei-	h								vorhanden	
bung										
Inkorrekte	80	10	Grey	Ein-/Aus-	Funktio-	Benötigt	kein	Falls	Über-	
System-	km/	m		schaltknopf	nirt bei	vorausfahren-	nahme-Icon			
beschrei-	h			betätigen	Nebel	des Fahrzeug	erscheint			
bung										

*Notes.  $V_{max}$  = maximale Geschwindigkeit, TTC = Zeit zur Kollision, Systemgrenze I/II = erste/zweite Übernahmesituation*

**Messzeitpunkt:** Fragen zum mentalen Modell, Konfidenz sowie die Vertrauens- und Akzeptanzfragen wurden am Anfang und am Ende des Experiments gemessen (siehe Abbildung 13). Die mentalen Modelle wurden objektiv mit der PDT oder

TDRT in einem Intervall zwischen 0,75 s und 1,75 s mit einer maximalen Stimulationsdauer von 2 s über die Dauer des gesamten Experimentes gemessen.

### *Abhängige Variablen*

Das mentale Modell, Vertrauen (Jian et al., 2000) und Akzeptanz (Van Der Laan et al., 1997) wurden als abhängige Variablen definiert.

**Mentales Modell:** Das mentale Modell wurde zum einen subjektiv anhand eines Fragebogens gemessen (Bloemacher et al., 2015) und zum anderen objektiv über die RT aus einer visuellen (PDT) und einer taktilen (TDRT) Zweitaufgabe.

Die PDT wurde 2 bis 5 Grad über dem simulierten Horizont und 17 Grad rechts von der Mitte des Lenkrads positioniert. Das Stimulusintervall betrug zwischen 0,75 und 1,75 Sekunden. Dieser Stimulus musste durch Drücken des Druckknopfes mit dem rechten Zeigefinger innerhalb von 2 Sekunden bestätigt werden, andernfalls verschwand der Stimulus und wurde als Fehlversuch gewertet (siehe Abschnitt 2.7.2).

Die TDRT bietet dem Teilnehmer einen vibrierenden, taktilen Stimulus (Ranney et al., 2014b; Chang, Boyle, Lee, & Jenness, 2017). Das Stimulusintervall und die Art der Reaktion, waren für die TDRT und PDT gleich. Aus praktischen und zeitlichen Gründen wurde der TDRT Vibrator in ein Armband am rechten Handgelenk integriert.

Beide Methoden wurden 2016 von der ISO standardisiert (ISO 17488: 2016). Es sollte beachtet werden, dass die Aufmerksamkeit begrenzt ist (zum Beispiel Wickens, 2008). Ein visueller Kanal kann nur eine begrenzte Menge an Information wahrnehmen (James, 1890). Folglich kann eine Fahraufgabe, die hauptsächlich visuell ist (zum Beispiel Cohen & Hirsing, 1991; Sivak, 1996) und eine ebenfalls visuelle periphere Detektionsaufgabe, zu einer Überlastung führen. Eine möglicherweise resultierende sensorische, visuelle Überlastung könnte durch Verwendung taktiler Stimuli (zum Beispiel TDRT) vermieden werden. Daher wurden zunächst beide Messungen

verwendet, um die Ergebnisse der zeitaktuellen Messung von mentalen Modellen mit Detektionsaufgaben genauer zu betrachten.

**Konfidenz:** Für jede der Wissensfragen wurde das Vertrauen jedes Teilnehmers in seine eigenen Antworten auf einer 5-Punkte Likert-ähnlichen Skala gemessen.

**Vertrauen:** Das Vertrauen wurde anhand eines Fragebogens mit einer eindimensionalen Skala von 12 Elementen für das Vertrauen in automatisierte Systeme gemessen (Jian et al., 2000). Die Skala reichte von 1 ("stimme überhaupt nicht zu") bis 7 ("stimme voll zu"). Der Mittelwert der zwölf einzelnen Item-Scores wurde als Gesamt-Trust-Score verwendet.

**Akzeptanz:** Die Akzeptanz wurde anhand eines Fragebogens mit einer von Van Der Laan et al. (1997) entwickelten 5-Punkte Ratingskala bewertet. Die beiden Akzeptanzdimensionen Nützlichkeit (Usefulness) und Zufriedenheit (Satisfying) bestehen insgesamt aus 9 Items.

#### 4.3.2. Hypothesen und Forschungsfragen

Unter Berücksichtigung des Modells (siehe Abbildung 6) werden im Folgenden die Hypothesen für Studie 2 Experiment 1 beschrieben.

**Systemverstehen (Wissen):** Zu Beginn der Messung wurde eine mehrheitlich korrekte Beantwortung der gestellten Fragen in der Bedingung mit korrekter Systembeschreibung erwartet und eine mehrheitlich inkorrekte Beantwortung in der Bedingung mit inkorrekt Systembeschreibung (siehe Beggiato & Krems, 2013; Blömacher et al., 2018). Zudem wurde angenommen, dass die Probanden der inkorrekte Bedingung im Vergleich zu den Probanden der korrekten Bedingung einen steileren Lernfortschritt haben (siehe Beggiato & Krems, 2013; Blömacher et al., 2018).

**Konfidenz:** Da immer noch ungeklärt ist, ob das Vertrauen in die Beantwortung der Wissensfragen und die Genauigkeit der Antworten korrelieren (Talarico & Rubin, 2003), wurde Konfidenz explorativ analysiert.

**Reaktionszeit:** Es wurde angenommen, dass die Diskrepanz zwischen einem mentalen Modell und der erlebten Situation für die Probanden mit der inkorrekten Systembeschreibung größer ist verglichen mit den Probanden mit einer korrekten Systembeschreibung. Folglich wurde eine höhere RT für die Probanden der inkorrekten Bedingung im Vergleich zu Probanden der korrekten Bedingung erwartet.

Aufgrund des größeren Wissensunterschieds für die Probanden der inkorrekten Bedingung wurde von einer steileren Lernkurve und abnehmender RT für die Probanden der inkorrekten Bedingung im Vergleich zu den Probanden der korrekten Bedingung ausgegangen. Die Lernkurve der Probanden in der korrekten Bedingung sollte nahezu gesättigt sein. Daher wurde eine Wechselwirkung zwischen dem Zeitpunkt der Messung und der Systembeschreibung erwartet.

Darüber hinaus sollte gezeigt werden, dass die Sensitivität der betrachteten Messmethoden ausreicht, um zwischen Fahrphasen (HAF-Phase) und Übernahmephasen (TOR; Take Over Request) zu unterscheiden. In den Übernahmephasen muss der Teilnehmer aufgrund von Systemgrenzen (TOR-Phase) je nach Systembeschreibung reagieren und die Fahraufgabe übernehmen. Dies bedeutet, dass eine Interaktion zwischen Fahrphasen und Systembeschreibung erwartet wird.

**Vertrauen und Akzeptanz:** Das Antizipieren von Systemgrenzen in der Bedingung mit korrekter Systembeschreibung war aufgrund der Nennungen von Systemgrenzen einfacher, als in der Bedingung mit inkorrekt Systembeschreibung, da in der korrekten Beschreibung die Systemgrenzen korrekt beschrieben wurden. Daher sollte die Bedingung mit der korrekten Systembeschreibung im Vergleich zur Bedingung mit



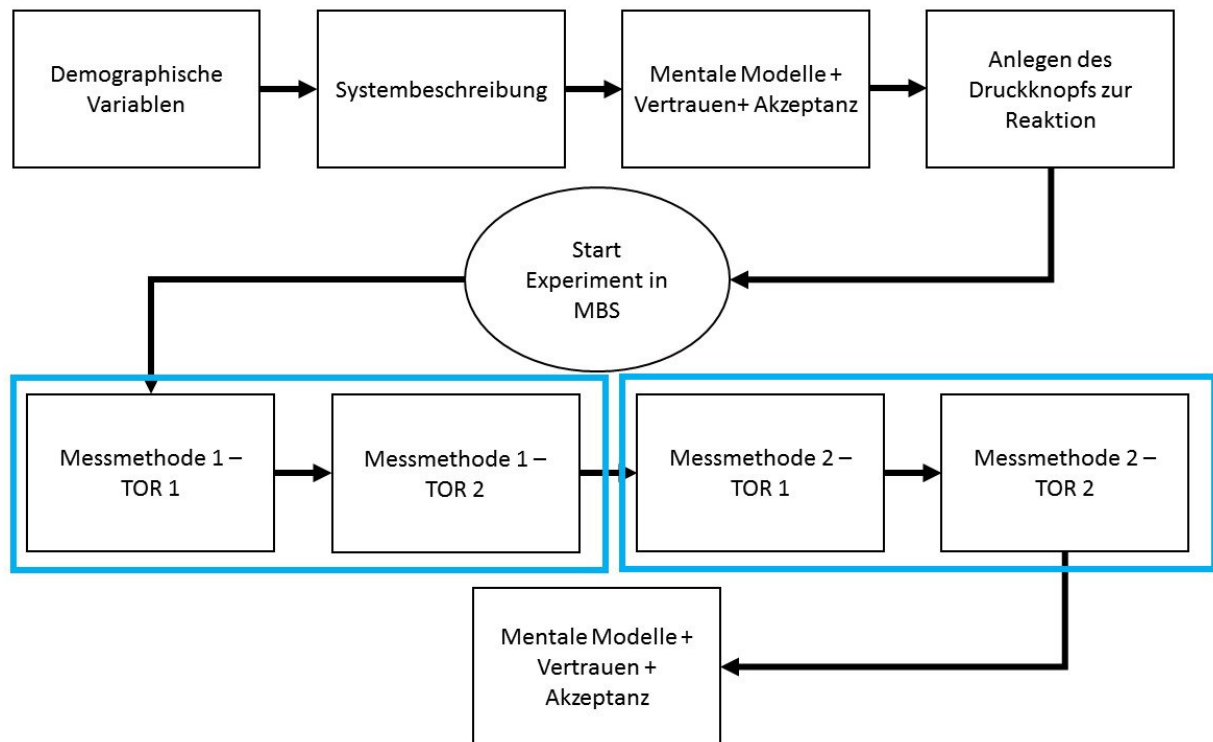
fehlerhafter Systembeschreibung den niedrigsten initialen Vertrauens- und Akzeptanzwert aufweisen (siehe Beggiato & Krems, 2013; Lee & See, 2004; Hergeth et al., 2016). Wie bereits bei den Hypothesen zum Punkt Systemverstehen (Wissen) und dem Punkt Reaktionszeit erwarteten wir, dass Vertrauen und Akzeptanz aufgrund der Übereinstimmung von mentalem Modell und Erfahrung in der erlebten Situation zunehmen (siehe Beggiato & Krems, 2013; Beggiato, Pereira, Petzoldt, & Krems, 2015).

#### 4.3.3. Versuchsablauf

Vor der Testfahrt unterschrieben die Probanden Einverständniserklärungen, lasen die Systembeschreibung und füllten einen Fragebogen aus, der grundlegende demographische Informationen und Fragen zu ihrem mentalen Modell, Vertrauen (Jian et al., 2000) und Akzeptanz (Van Der Laan et al., 1997) in die Systemfunktionalität enthielt. Die darauffolgende Testfahrt beinhaltete eine ca. 50 km lange Autobahnroute im Fixed Base Fahrsimulator (FBS) der Daimler AG. Die Probanden wurden angewiesen, während der gesamten Fahrt eine von uns gegebene Nebenaufgabe auszuführen, die sich zur Hälfte des Experimentes änderte.

Innerhalb dieser Fahrerfahrung erlebten die Probanden zwei verschiedene Situationen (siehe Abbildung 13), in denen sie die Fahraufgabe übernehmen mussten. Jede Situation wurde zweimal durchgeführt, einmal mit einer visuellen Zweitaufgabe (PDT, Abbildung 16) und einmal mit einer taktilen Zweitaufgabe (TDRT, Abbildung 16). Die Reihenfolge der Nebenaufgaben und -situationen wurde randomisiert.

Nach der Testfahrt beantworteten die Teilnehmer Fragen zu ihrem mentalen Modell, Vertrauen und Akzeptanz.



**Abbildung 13:** Versuchsablauf. TOR wurde über die Messmethode hinweg variiert. Die Messmethode war entweder eine visuelle PDT oder eine taktile TDRT. Die Methode wurde über die Konditionen ausbalanciert.

#### 4.3.4. Ergebnisse

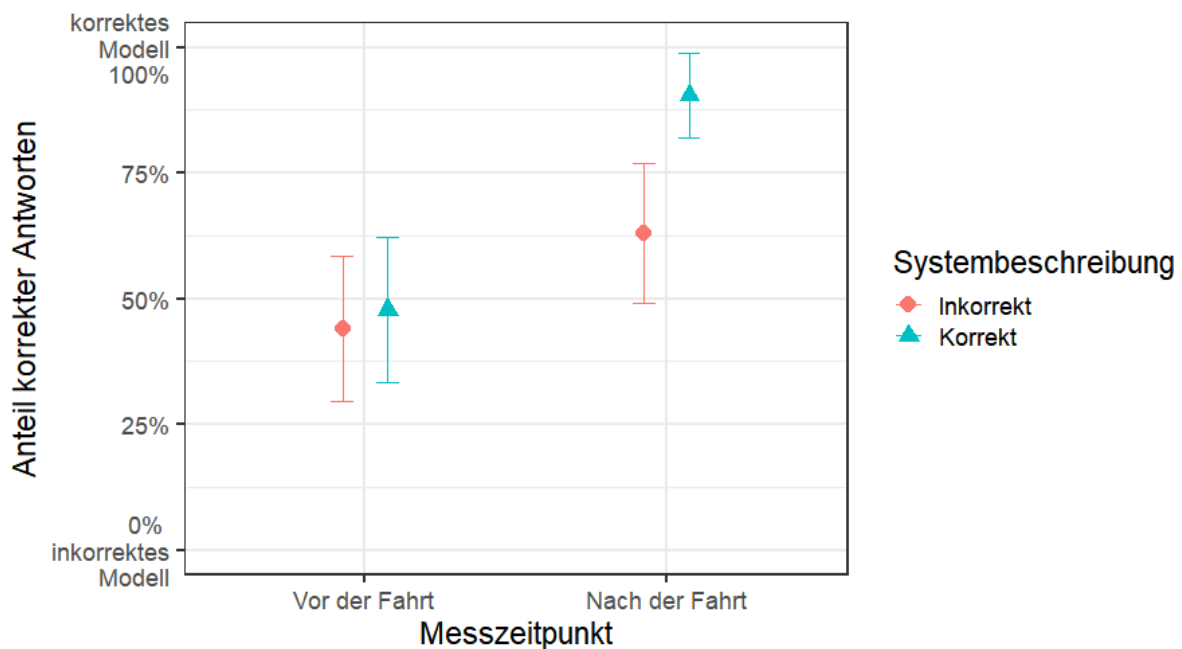
Es folgt eine Analyse des Aufbaus und der Analysierung mentaler Modelle in Abhängigkeit von verschiedenen Systembeschreibungen. Zunächst wurde ein verallgemeinertes lineares mixed-effects-Modell zur Analyse der subjektiven Bewertung von mentalen Modellen herangezogen. Zudem wurde ein lineares mixed-effects-Modell verwendet, um mentalen Modelle abhängig von der Systembeschreibung auf einer objektiven Datengrundlage zu analysieren. Darüber hinaus wurden wie zuvor Daten zu den Variablen Vertrauen und Akzeptanz erhoben. Die statistischen Modelle basierten auf dem lme4-Paket (Bates et al., 2015) und wurden mit dem Typ II Wald  $\chi^2$  test analysiert. Die p-Werte für Regressionskoeffizienten wurden unter Verwendung der Anova-

Funktion des car Paketes berechnet (Fox & Weisberg, 2011). Alle Analysen wurden in der R-Programmiersprache und Umgebung durchgeführt.

### *Mentale Modelle – Systemverstehen (Wissen)*

#### **Subjektive Messmethode (Mentale Modelle)**

Die Kodierung von korrekten und inkorrekten Antworten basierte auf der korrekten Systembeschreibung.



**Abbildung 14:** Anteil korrekter Antworten über den Messzeitpunkt (vor und nach der Fahrt) für die korrekte und inkorrekte Bedingung. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler.

Der Einfluss der Systembeschreibungen auf die binäre Variable (ja/nein Antworten) wurde auf Grundlage der Rohdaten und einem Modell berechnet. Das Modell beinhaltete die Probanden als random intercept factor. Der Messzeitpunkt und die Bedingung der Systembeschreibung wurden als fixed effects in das Modell aufgenommen. Die

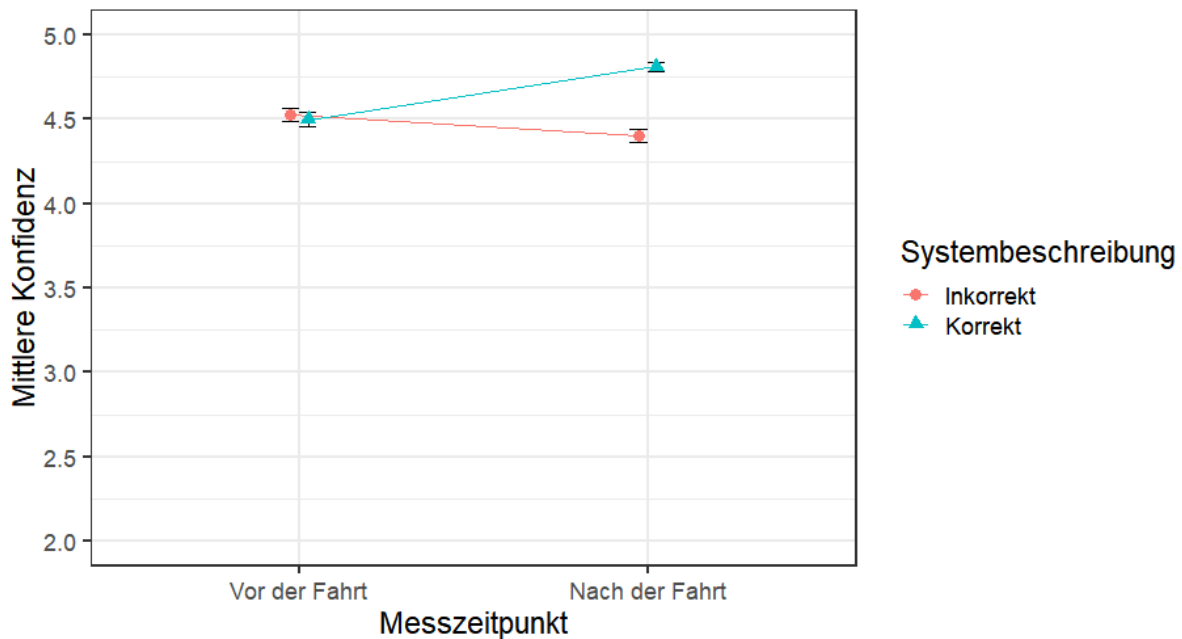
Ergebnisse zeigten einen signifikanten Lerneffekt, da die Interaktion zwischen Systembeschreibung und Messzeitpunkt signifikant wurde,  $\chi^2(1) = 51.48, p < .001$ . Zudem gab es einen Haupteffekt für den Faktor Systembeschreibung,  $\chi^2(1) = 42.52, p < .001$ . Die Teilnehmer mit der korrekten Systembeschreibung hatten mehr korrekt beantwortete Fragen als Teilnehmer mit der inkorrekten Systembeschreibung. Der Haupteffekt für den Messzeitpunkt wurde ebenfalls signifikant,  $\chi^2(1) = 162.77, p < .001$ . Die Probanden hatten nach der Fahrt eine höhere Anzahl korrekter Antworten als unmittelbar nach dem Lesen der Systembeschreibung.

Diese Ergebnisse sind graphisch in Abbildung 14 dargestellt. Während sich vor der Fahrt das Ergebnis zwischen Probanden der unterschiedlichen Bedingungen (korrekte vs. inkorrekte Systembeschreibung) kaum unterschied, war nach der Fahrt ein deutlicher Unterschied zu erkennen. Folglich konnten die Probanden mit der korrekten Systembeschreibung mehr lernen, als die Probanden mit der inkorrekten Systembeschreibung. Die Probanden beider Bedingungen hatten nach der Fahrt gelernt und ihr mentales Modell angepasst.

#### *Konfidenz:*

Zur Beurteilung des Vertrauens in die eigenen Antworten wurde auf den Rohdaten ein Modell mit der Konfidenz als abhängige Variable, die Teilnehmer als random intercept und der Zeitpunkt der Messung sowie die Systembeschreibung als fixed effects gerechnet. Das Hauptergebnis ist eine signifikante Zweifachinteraktion zwischen der Systembeschreibung und dem Zeitpunkt der Messung,  $\chi^2(1) = 27,89, p < 0,001$ . Wie in Abbildung 15 zu sehen, war die Konfidenz vor der Fahrt für die korrekte und inkorrekte Bedingung nahezu gleich. Nach der Fahrt zeigt die korrekte Bedingung einen höheren Konfidenzwert als die inkorrekte Bedingung (siehe Abbildung 15). Darüber hinaus gab es keinen signifikanten Effekt für die Systembeschreibung. Lediglich eine

Tendenz, dass die Probanden der korrekten Bedingung größere Konfidenz zeigte im Vergleich zu denen der inkorrekten Bedingung,  $\chi^2 (1) = 3,74$ ,  $p = 0,053$ . Darüber hinaus kann ein signifikanter Haupteffekt für die Zeit der Messung angegeben werden,  $\chi^2 (1) = 9,43$ ,  $p < 0.01$ , was einen höheren Konfidenzwert nach dem Fahren im Vergleich zu vor dem Fahren zeigt.



**Abbildung 15:** Mittlere Konfidenz vor und nach dem Fahrerlebnis (rot: inkorrekte Systembeschreibung, blau: korrekte Systembeschreibung). Die Fehlerbalken zeigen den Standardfehler.

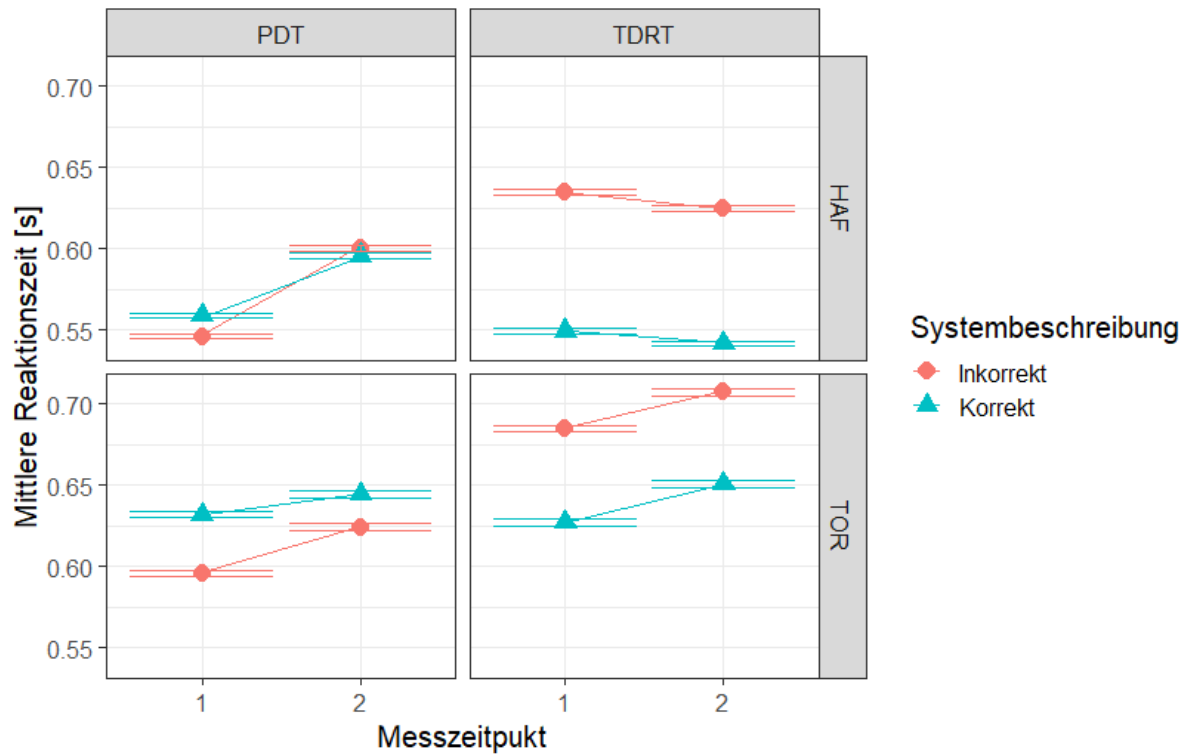
### Objektive Messmethode (PDT/ TDRT)

Entweder die Reaktionszeit (RT) oder die Misses wurden verwendet, um die Wahrnehmungsverarbeitung der Bedingungen zu interpretieren.  $RT > 2$  Sekunden wurden als Miss (Fehler) definiert.

### PDT.

*RT*. Für die Berechnung wurde ein gemischtes Modell über die Rohdaten mit der numerischen, abhängigen Variablen *RT* genutzt. Zeitpunkt der Messung, Systembeschreibung und Fahrphase (HAF vs. TOR) wurden als fixed effects eingefügt. Darüber hinaus wurden Teilnehmer als Zufallsfaktor in das Modell eingefügt.

Das Hauptergebnis ist eine signifikante Interaktion zwischen Systembeschreibung und Fahrphase,  $\chi^2(1) = 11.05$ ,  $p < .001$ . Wie in Abbildung 16 zu sehen, unterscheiden sich die *RT* der Teilnehmer weniger für die TOR-Phasen als für die HAF-Phasen. Allerdings stiegen die *RT* während der Fahrt. In der zweiten HAF-Phase hatten Teilnehmer mit der korrekten Systembeschreibung nahezu die gleichen *RT* als die Probanden der Bedingung mit inkorrekt Systembeschreibung. Es liegt eine Tendenz zur Interaktion zwischen der Systembeschreibung und dem Zeitpunkt der Messung vor,  $\chi^2(1) = 3.57$ ,  $p = 0.059$ . Selbst wenn beide Bedingungen Lerneffekte zeigen, ist zum zweiten Zeitpunkt der Messung eine Konvergenz für beide Zustände zu erkennen (siehe Abbildung 16). Es konnten jedoch keine Unterschiede in der *RT* hinsichtlich der Interaktion zwischen der Fahrphase (HAF vs. TOR) und dem Zeitpunkt der Messung,  $\chi^2(1) = 2.47$ ,  $p = 0.116$  oder der dreifachen Interaktion zwischen Fahrphase, Zeitpunkt und Systembeschreibung,  $\chi^2(1) = 0.69$ ,  $p = .406$  gezeigt werden. Außerdem unterschieden sich die *RT* aufgrund der Systembeschreibung nicht,  $\chi^2(1) = 0.50$ ,  $p = 0.480$ . Der Haupteffekt für die Fahrphase wurde jedoch signifikant  $\chi^2(1) = 195.89$ ,  $p < 0.001$ . Abbildung 16 zeigt, dass *RT* für die HAF-Phase im Vergleich zur TOR-Phase niedriger waren. Darüber hinaus zeigt sich eine Tendenz für den Haupteffekt des Messzeitpunktes,  $\chi^2(1) = 3.79$ ,  $p = 0.052$ . Die Teilnehmer reagieren im Zeitverlauf langsamer.



**Abbildung 16:** Mittlere RT gemessen über die visuelle Messmethode (PDT) und die taktile Messmethode (TDRT) abgetragen über den Messzeitpunkt und aufgeteilt nach Fahrphase für die Bedingungen mit korrekter und inkorrekt Systembeschreibung. Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar.

*Misses (Fehler).* Das folgende, verallgemeinerte lineare mixed-effects Modell beinhaltet die Anzahl der Misses der PDT als abhängige Variable. Die Systembeschreibung, der Zeitpunkt der Messung und die Fahrphase wurden als fixed effects und die Teilnehmer als random intercept in das Modell aufgenommen.

Die Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Systembeschreibung,  $\chi^2(1) = 85,78$ ,  $p < 0,001$ , und die Wechselwirkung zwischen Messzeitpunkt und Fahrphase,  $\chi^2(1) = 50,67$ ,  $p < 0,001$ , waren signifikant. Der Anteil an Fehlern, die im Laufe der Zeit aufgetreten waren, und die Fehler in den TOR-Phasen waren höher als die Fehler in den HAF-Phasen (siehe Tabelle 5). Die Fehler zeigten somit nicht genau das gleiche Muster wie die RT. Es gibt keine signifikante Interaktion zwischen der Fahrphase und der

Systembeschreibung, allerdings besteht eine signifikante Interaktion zwischen dem Zeitpunkt der Messung und der Systembeschreibung.

Es konnte keine signifikante Interaktion zwischen der Systembeschreibung und der Fahrphase nachgewiesen werden,  $\chi^2(1) = 1.92$ ,  $p = < .166$ . Allerdings wurde die dreifache Interaktion zwischen der Systembeschreibung, dem Messzeitpunkt und der Fahrphase in Bezug auf die Fehler signifikant,  $\chi^2(1) = 16.63$ ,  $p < .001$ . Innerhalb der Bedingung mit den inkorrekten Systembeschreibungen gab es mehr Fehler, verglichen mit der Bedingung mit der korrekten Systembeschreibung. Demnach verursachte die inkorrekte Systembeschreibung eine Beeinträchtigung der Leistung bei der Zweitaufgabe.

Der Haupteffekt der Systembeschreibung wurde nicht signifikant,  $\chi^2(1) = 1.34$ ,  $p = .247$ . Hingegen wurden die Haupteffekte Fahrphase,  $\chi^2(1) = 285.44$ ,  $p < .001$ , und Messzeitpunkt signifikant,  $\chi^2(1) = 142.59$ ,  $p < .001$ .

**Tabelle 5: Prozent an Fehlern (Misses)**

Methode	Messzeitpunkt	HAF/TOR	Bedingungen	
			Korrekt	Inkorrekt
PDT	1	HAF	0.99%	3.20%
		TOR	8.39%	12.05%
	0.94	HAF	13.45%	8.70%
		TOR	12.84%	13.40%
TDRT	1	HAF	0.94%	4.02%
		TOR	11.78%	19.23%
	2	HAF	3.52%	9.72%



TOR

11.97%

18.32%

---

Anmerkung: Prozent an RT >2s

## TDRT.

**RT.** Das gemischte Modell zur Berechnung des Einflusses der Systembeschreibungen auf die RT beinhaltete die RT als abhängige Variable, den Messzeitpunkt, die Systembeschreibung und die Fahrphase als fixed effects. Die Probanden wurden als random factor dem Modell hinzugefügt.

Das Hauptergebnis ist eine signifikante Zweifachinteraktion zwischen der Systembeschreibung und der Fahrphase,  $\chi^2(1) = 16.54, p < .001$ . Wie in Abbildung 16 zu erkennen, hatten die Probanden mit der korrekten oder inkorrekten Systembeschreibung in der HAF Phase kürzere RT als in der TOR Phase. Die Probanden der korrekten Bedingung hatten kürzere RT als die Probanden der inkorrekten Bedingung. Es gab keinen Interaktionseffekt zwischen Systembeschreibung und Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 1.95, p = .162$ . Die Interaktion zwischen Fahrphase und Messzeitpunkt wurde signifikant,  $\chi^2(1) = 5.71, p = .017$ . Eine Dreifachinteraktion konnte nicht gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.43, p = .513$ . Zudem unterschieden sich die RT nicht auf Grundlage der Systembeschreibungen,  $\chi^2(1) = 2.97, p = .085$ . Allerdings hingen die RT von der Fahrphase ab,  $\chi^2(1) = 216.46, p < .001$ . Ein Haupteffekt für den Messzeitpunkt konnte nicht gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.85, p = .036$ .

**Misses (Fehler).** Das generalisierte, lineare, gemischte Modell der TDRT beinhaltete als abhängige Variable die Anzahl an Misses. Die Systembeschreibung, die Messzeitpunkte und die Fahrphasen wurden als fixed effects integriert. Die Probanden wurden als random intercept factor zur Kontrolle assoziierter Intraklassenkorrelationen in das Modell aufgenommen.

Mit Hilfe dieses Modells konnte auf eine signifikante Interaktion zwischen der Systembeschreibung und der Fahrphase hingewiesen werden,  $\chi^2(1) = 24.83, p < .001$ . Die Interaktion zwischen dem Messzeitpunkt und der Systembeschreibung wurde nicht signifikant,  $\chi^2(1) = 0.67, p = .414$ . Die Faktoren Fahrphase und Messzeitpunkt interagierten signifikant miteinander,  $\chi^2(1) = 87.32, p < .001$ . Eine Dreifachinteraktion zwischen diesen Faktoren wurde nicht gefunden,  $\chi^2(1) = 0.12, p = .728$ .

Für die Faktoren Systembeschreibung,  $\chi^2(1) = 5.98, p = .015$ , Fahrphase,  $\chi^2(1) = 485.49, p < .001$ , und Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 54.32, p < .001$  konnten signifikante Haupteffekte nachgewiesen werden.

Zusammenfassend hatten die Probanden mit der korrekten Systembeschreibung weniger Misses im Vergleich zu den Probanden mit der inkorrekten Systembeschreibung. Zudem wurden mehr Misses in der TOR Phase als in der HAF Phase gemessen. Die Anzahl der Misses stieg über die Dauer.

### *Vertrauen und Akzeptanz*

#### **Vertrauen in das System**

Mit den rekodierten, inversen Items wurde ein lineares, gemischtes Modell mit den Faktoren Systembeschreibung und Messzeitpunkt als fixed effects aufgestellt.

*Tabelle 6: Der Effekt des Messzeitpunktes und der Systembeschreibung auf das Vertrauen in hochautomatisierte Fahrzeuge (1 = "geringes Vertrauen / Misstrauen", 7 = "hohes Vertrauen / Vertrauen".*

---

Systembeschreibung	Messzeitpunkt	Mittelwert	SD
Korrekt	Vorher	4.56	1.93
	Nachher	4.92	2.03
Inkorrekt	Vorher	4.51	1.88
	Nachher	4.81	2.09

*Anmerkung. "Vorher" = Vor dem Fahrerlebnis. "Nachher" = Nach dem Fahrerlebnis. Mittelwert = Mittelwert aus einer sieben-Punkte Likert-ähnlichen Skala, SD = Standardabweichung auf einer 7-Punkte Likert-ähnlichen Skala.*

Der Wald  $\chi^2$  Test ergab keinen signifikanten Interaktionseffekt,  $\chi^2(1) = 0.06$ ,  $p = .814$ . Zudem konnte kein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Systembeschreibung gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.36$ ,  $p = .550$ . Dennoch konnte gezeigt werden, dass die Probanden über die Zeit hinweg an Vertrauen gewannen,  $\chi^2(1) = 9.12$ ,  $p = .003$ .

### **Akzeptanz von hochautomatisierten Systemen**

Nachdem die inversen Items rekodiert wurden, wurde ein lineares, gemischtes Modell mit den fixed effects Systembeschreibung und Messzeitpunkt (vor der Fahrt vs. nach der Fahrt) aufgestellt.

Der Wald  $\chi^2$  Test wurde weder für den Faktor Systembeschreibung,  $\chi^2(1) = 0.00$ ,  $p = .983$ , noch für den Faktor Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 0.32$ ,  $p = .571$ , oder deren Interaktion,  $\chi^2(1) = 0.00$ ,  $p = .968$ , signifikant. Die Akzeptanz von hochautomatisierten Systemen ist somit unabhängig von den Systembeschreibungen und der Zeit.

*Tabelle 7: Der Effekt des Messzeitpunktes und der Systembeschreibung auf die Akzeptanz von hochautomatisierte Fahrzeuge.*

Skala	Systembeschreibung	Messzeitpunkt	Mittelwert	SD
Satisfying	Korrekt	Vorher	1.20	.82
		Nachher	1.22	0.86
	Inkorrekt	Vorher	1.22	0.77
		Nachher	1.24	0.84
Usefulness	Korrekt	Vorher	1.12	.92
		Nachher	1.02	1.01
	Inkorrekt	Vorher	1.15	1.02
		Nachher	1.04	1.24

*Note. "Vorher" = Vor dem Fahrerlebnis. "Nachher" = Nach dem Fahrerlebnis. Mittelwert = Mittelwert auf einer 5-Punkte Likert-ähnlichen Skala, SD = Standardabweichung auf einer 5-Punkte Likert-ähnlichen Skala.*

#### 4.3.5. Diskussion

Der Fokus der Studie 2 Experiment 1 lag auf der Untersuchung der Beziehung zwischen verschiedenen mentalen Modellen eines hochautomatisierten Fahrzeuges. Die unterschiedlichen mentalen Modelle wurden im Versuch über das Lesen von unterschiedlichen Systembeschreibungen (korrekte Informationen vs. inkorrekte Informationen) aufgebaut. Eine inkorrekte Systembeschreibung sollte zu einem inkorrekten mentalen Modell und eine korrekte Systembeschreibung zu einem korrekten mentalen Modell führen. Die Entwicklung der mentalen Modelle wurde sowohl über eine subjektive Methode als auch über eine objektive Methode gemessen. Die subjektive Methode orientierte sich an der Vorgehensweise von Blömacher et al. (2018) sowie Beggiato and Krems (2013) und bestand aus einem Fragebogen. Die objektive Methode bestand hauptsächlich aus den Reaktionszeiten auf eine Zweitaufgabe während der hochautomatisierten Fahrt. Die Reaktionszeiten auf eine visuelle (PDT) und taktile (TDRT) Zweitaufgabe, sollten Aufschluss über die Beanspruchung geben, die die Probanden erlebten, wenn sie ihr mentales Modell anwenden und aktualisieren. Probanden mit einem inkorrektem mentalen Modell sollten mehr Aufwand bei der Aktualisierung des mentalen Modells haben, als Probanden mit dem korrekten mentalen Modell (siehe Abbildung 6). Jedoch zeigte der Manipulationscheck zu Beginn von Studie 2 Experiment 1, dass die Operationalisierung mentaler Modelle über die Systembeschreibung, gemessen mit der subjektiven Methode eines Fragebogens, nicht wie erwartet funktioniert hat. Lediglich anhand der deskriptiven Betrachtung der Mittelwerte, weist der Manipulationscheck in die richtige Richtung. Die Bedingung mit der korrekten Systembeschreibung wies mehr korrekte Antworten auf, als die Bedingung mit der inkorrekten Systembeschreibung. Auch wenn die Probanden beider Bedingungen einen Lerneffekt zeigten, so hatten die Probanden mit den korrekten Systembeschreibungen dennoch bis zu Letzt mehr korrekte Antworten als die Probanden, denen die inkorrekte

Systembeschreibung gegeben wurde. Eine mögliche Erklärung hierzu könnte die Konfidenzauswertung liefern. Zu Beginn gab es keinen Unterschied in der Konfidenz in beiden Bedingungen. Nach dem Fahrerleben zeigten die Probanden der inkorrekten Bedingung geringere Konfidenz verglichen mit denen der korrekten Bedingung und der Konfidenz vor dem Fahrerleben. Möglich wäre also, dass die Probanden einen Zustand der Verwirrung erlebten, da das mentale Modell nicht der erlebten Situationen entsprach. Dies könnte Auswirkungen auf das Vertrauen in das gebildete mentale Modell und demnach die eigenen Antworten haben. Diese Verwirrung könnte auch dazu geführt haben, dass die Probanden die Korrektheit verstärkt ihr mentales Modell kritisch hinterfragt haben und nicht jede Fahrerfahrung in das mentale Modell eingefügt haben.

Möglich wäre aber auch, dass die Verwirrung dazu geführt hat, dass die Probanden nicht wussten, ob sie entsprechend dem Erlebten oder dem Gelesenen antworten sollten.

Eine andere Erklärung könnte die nun im Vergleich zu Studie 1 geänderte Abfrage des mentalen Modells darstellen. Während in Studie 1 in Anlehnung an die SAGAT Methode (Endsley, 1988a), die verschiedenen Level von SA abgefragt wurden, wurde in Studie 2 Experiment 1 lediglich ein allgemeines Wissen zu dem System abgefragt. Diese unterschiedliche Tiefe der Abfrage kann zu weniger trennscharfen Ergebnissen für die verschiedenen Bedingungen geführt haben.

Neben den subjektiven Methoden zur Messung des Einflusses von Systembeschreibung und Fahrerleben, war auch das subjektive Maß zur Messung der Konfidenz nicht im Stande die gelungene Manipulation nachzuweisen. Mit Hilfe der objektiven Messmethoden konnte die gelungene Manipulation der mentalen Modelle jedoch gezeigt werden. Dies führt zur Annahme, dass die subjektiven Messmethoden weniger

sensitive Rückschlüsse auf, zum Beispiel die Manipulation von mentalen Modellen zu lassen. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass die subjektiven Messmethoden zwar Zugriff auf verbalisierbares Wissen haben, nicht aber auf nicht verbalisierbares Wissen. Folglich können alleine auf Grundlage der Daten aus subjektiven Methoden, die Unterschiede zwischen den Bedingungen unterschätzt werden.

Ein weiteres, interessantes Ergebnis der Studie war, dass die Probanden der inkorrekten Bedingung in der visuellen Zweitaufgabe (PDT) entgegen der Erwartungen schneller auf die visuellen Reize reagierten als die der korrekten Bedingung. Das Konvergieren der RT und somit das Annähern beider mentaler Modelle konnte in Studie 2 Experiment 1 für die PDT gezeigt werden (vergleiche Beggiato & Krems, 2013). Die unerwartete Richtung der Ergebnisse kann auf die oben erwähnte Verwirrung zurückzuführen sein, die in den Daten aus den subjektiven Datenerhebungen des mentalen Modells und des Konfidenzmaßes gesehen werden kann.

Diese erwähnte Verwirrung der Probanden könnte durch den Aufbau der Systembeschreibung verursacht worden sein. So hatten Probanden das hochautomatisierte System vor Beginn einer jeden HAF Phase einzuschalten. Dieser Schritt wurde korrekt für die korrekte Bedingung beschrieben, jedoch auch in Teilen inkorrekt für die Bedingung mit der inkorrekten Beschreibung. Somit begannen die Probanden bereits nach der Einschaltphase ihre mentalen Modelle auf Grundlage des Erlebten zu aktualisieren. Damit einher könnte eine frühzeitige Verwirrung und Aufmerksamkeitsfokussierung, was womöglich zu der geringeren RT für die korrekte Bedingung zum Zeitpunkt der Messung führte.

Für die TDRT Messung zeigten die RT die erwartete Richtung. Die Probanden der korrekten Bedingung reagierten schneller auf die taktilen Stimuli als die Probanden der inkorrekten Bedingung. Allerdings konvergierten die RT beider Bedingungen nicht

über die Zeit des Experimentes hinweg. Die Leistung der Probanden bei der taktilen Zweitaufgabe sank über die Zeit in der HAF Phase (RT wurden größer), hingegen stieg die Leistung der Probanden in den TOR Phasen über die Zeit hin an (RT wurden kürzer).

Während die Probanden bei der PDT stets den Blick auf die PDT oder die Straße haben mussten, konnten sich die Probanden bei der TDRT komplett von der Fahraufgabe und Fahrumgebung abwenden. Dies kann vor allem in den Phasen ohne Übernahme zu einer erhöhten Abwendung vom Fahrgeschehen geführt haben, weshalb die RT in den HAF Phasen sank. Das Verhalten in den HAF Phasen wäre somit dem Verhalten, das aus empirischen Studien zum Thema Schläfrigkeit bekannt ist, ähnlich. Da die RT Verläufe in den TOR Phasen jedoch wieder ansteigen, sind die berichteten Ergebnisse auch vor dem Hintergrund der Studien zum Thema Schläfrigkeit (Drowsiness) überraschend. Schläfrigkeit tritt bereits nach etwa 30 Minuten Fahrt auf und sollte die RT der Proband nicht kleiner, sondern größer werden lassen (Warm, Matthews, & Finomore, 2008). Möglich wäre, dass die Probanden auf den taktilen Reiz in der HAF Phase schneller habituieren, als auf den peripheren, visuellen Reiz. Da in der TOR Phase stets neue Umweltreize durch eine veränderte Übernahmesituation dazu kommen, wird diese Habituation an den taktilen Reiz womöglich unterbrochen. Diese Habituation ist bei der PDT nicht zu erkennen. Eine Erklärung hierfür ist, dass die PDT eine größere Präsentationsfläche von visuellen Reizen hat. So kann ein visueller Reiz mal links unten, mal rechts oben oder in der Mitte erscheinen (siehe Abbildung 5). Hingegen reagiert der Proband bei der TDRT auf den taktilen Reiz an immer der gleichen Stelle.

Die Messmethode auf den gleichen Sinneskanal zu legen, wie die vom Probanden erfahrene Umgebung, bietet zum einen den Vorteil, dass aufgrund der gleichen



Belegung eine hohe Sensitivität der Messung zu erwarten ist. Zum anderen birgt diese Methode aber auch die Gefahr, dass eine Reizüberflutung stattfindet, da zwei Aufgaben über den gleichen Sinneskanal aufgenommen werden und die Aufgabenerfüllung somit erschwert wird. Um dieser Gefahr vorzubeugen, wurde in Studie 2 Experiment 1 neben einer visuellen Zweitaufgabe, auch eine zur Fahraufgabe verschiedene Zweitaufgabe gewählt, die TDRT.

Die PDT wurde im Anschluss an diesen Versuch als Methode für einen weiteren Versuch festgelegt. Da mit Hilfe der PDT das Konvergieren der mentalen Modelle repliziert werden konnte (Beggiato & Krems, 2013), die Richtung der Effekte jedoch eine andere war, als anfänglich erwartet, war das Interesse an einer vertieften Untersuchung an dieser Stelle am größten.

Warum zeigten die Probanden mit einem falschen mentalen Modell gleich zu Beginn so kurze Reaktionszeiten? Hatten sie einen Aufmerksamkeitstrigger, der sie zu einer gesteigerten Aufmerksamkeit verleitete? Was unterschied die beiden Bedingungen, sodass dieser unerwartete Richtungseffekt auftauchen konnte?

Darüber hinaus ist die PDT eine visuelle Aufgabe, deren Informationsverarbeitung auf dem gleichen Sinneskanal beginnt, wie bei der Fahraufgabe. Anhand des Modells von Wickens (zum Beispiel Wickens, 2008) kann davon ausgegangen werden, dass die Beanspruchung somit größer ist, was wiederum nach DeWaard (1996) zu einer Beeinträchtigung der Aufgabenleistung führen kann. Diese Beeinträchtigung wird mit der PDT deutlicher messbar gemacht, nicht aber mit der TDRT. Somit stellt die PDT vermutlich eine höhere Sensitivität bezüglich der Messung des Einflusses mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren dar. Bedenken, dass die Aufgaben eine Überlastung des Sinneskanals bewirken könnte und demnach eine Messung auf diesem Kanal zu nicht aussagekräftigen Ergebnissen führen kann, konnten mit Studie

2 Experiment 1 nicht bestätigt werden. Die Lerneffekte waren mit Hilfe der PDT messbar und passten zu einem Teil der Hypothesen. Somit ist eine Messung auf einem anderen Sinneskanal (zum Beispiel taktil) unter Umständen nicht ausreichend sensitiv um kurzweilige kognitive Änderung auf Grundlage des mentalen Modells messen zu können.

In einem weiteren Experiment (Studie 2 Experiment 2) wurde der Schwerpunkt auf die Systembeschreibung und dessen Aufbau (Einschalt- und Übernahmephase) gelegt und mit Hilfe der PDT der Einfluss von Systembeschreibungen gemessen. Grund für diese Schwerpunktsetzung im Folgeexperiment war die aus den Ergebnissen abgeleitete Arbeitshypothese, dass die Probanden bereits beim Einschalten auf das inkorrekte mentale Modell aufmerksam wurden, die Verwirrung früher stattfand und die restliche Messung überstrahlte. Eine überarbeitete Systembeschreibung sollte diese Vermutung überprüfen.

#### 4.4. Studie 2 Experiment 2

Studie 2 Experiment 2: Im zweiten Experiment der Studie 2 wurde der Forschungsschwerpunkt auf den Einfluss der mentalen Modelle zur Einschaltbedingung auf die Zweitaufgabe während einer hochautomatisierten Fahrt gelegt. Studie 2 Experiment 1 und 2 wurden 2019 unter dem Titel „The Evolution of Mental Models in Relation to Initial Information and Perceptual Processing While Driving Automated“ im Journal Transportation Research Part F (vergleiche Blömacher, Nöcker, & Huff, 2019) veröffentlicht.

##### *Zusammenfassung Studie 2 Experiment 2*

**Ziel:** Überprüfung des Einflusses einer Differenzierung in der Systembeschreibung bezogen auf die Einschalt- und Übernahmeprozesse auf die mentalen Modelle beim hochautomatisierten Fahren und deren Messung.

**Hintergrund:** Aus den Ergebnissen der Studie 2 Experiment 1 konnte eine Arbeitshypothese abgeleitet werden. Diese soll mit Hilfe eines neuen Versuchsdesigns in dieser Studie überprüft werden um einen Beitrag zur Erforschung mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren zu leisten.

**Methode:** Für das Experiment wurden 93 Probanden rekrutiert und in eine Bedingung mit korrekter und einer Bedingung mit inkorrekte Systembeschreibung zum hochautomatisierten Fahren aufgeteilt. Die Probanden bearbeiteten während der Fahrt im Simulator eine visuelle (PDT) Zweitaufgabe und erlebten vier Übernahmesituationen. Zusätzlich zu den so erzeugten objektiven Messungen, wurde das mentale Modell mit Hilfe eines Fragebogens abgefragt. Daten zu Vertrauen und Akzeptanz wurden wie

die Fragebögen zu mentalen Modellen vor und nach der Fahrt im Fahrsimulator erhoben.

**Ergebnisse:** In Studie 2 Experiment 1 wurden zwei standardisierte ISO-Methoden zur Messung herangezogen (ISO 17488: 2016). Die Ergebnisse wiesen interpretierbare Ergebnisse auf, woraus abgeleitet wurde, dass es zu keiner sensorischen Überlastung für die visuelle Zweitaufgabe kam. Da die PDT in der Lage ist, direkt die Kapazität auf dem visuellen Kanal zu messen, die von beiden Aufgaben verwendet wird (Fahraufgabe und Zweitaufgabe; zum Beispiel Cohen & Hirsing, 1991; Sivak, 1996), eignet sich diese Methode besser zur Untersuchung der Hypothese von Studie 2 Experiment 2 als die TDRT. Studie 2 Experiment 2 betrachtete den Einfluss einer Differenzierung in der Systembeschreibung bezogen auf die Einschalt- und Übernahmeprozesse. Dies zu überprüfen, ging aus Studie 2 Experiment 1 als Arbeitshypothese hervor (siehe Abschnitt 4.3.4). Beide Detektionsaufgaben von Studie 2 Experiment 1 zeigten Ergebnisse, die nicht erwartet wurden. Um sich auf das Hauptthema der Hypothesen (siehe zum Beispiel Abbildung 6) zu konzentrieren, lag der methodische Schwerpunkt von Studie 2 Experiment 2 auf einer visuellen Zweitaufgabe. Die Ergebnisse der visuellen Zweitaufgabe können mit Hilfe theoretischer Grundlagen wie dem multiplen Ressourcenmodells von Wickens (2002b; 2008) und dem Konzept Workload von DeWaard (1996), interpretiert werden. Zudem wurde die Wahl, eine visuelle Zweitaufgabe zu nutzen, durch empirische Hinweise, dass das Autofahren eine primär visuelle Aufgabe ist unterstützt (zum Beispiel Cohen & Hirsing, 1991; Sivak, 1996).

Wickens' multiples Ressourcenmodell postuliert höhere Interferenzen während der Aufgabenerfüllung, wenn Aufgaben dieselben Ressourcen verwenden (zum Beispiel Wickens, 2008). Daher wurde eine hohe und sichtbare Störung bei der Aufgabenerfüllung mit einer visuellen Messmethode erwartet (vergleiche hierzu DeWaard, 1996). **Fazit:** Zum einen konnten die Ergebnisse aus Studie 2 Experiment 1 repliziert und zum

anderen die Arbeitshypothese mit Hilfe des neuen Studiendesigns bestätigt werden.

Mentale Modelle sind objektiv messbar.

**Anwendung:** Eine objektive Messmethode kann eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse liefern, sodass Ergebnisse über Studien und Versuchsdesign hinweg verglichen werden können.

*Schlüsselwörter:* Hochautomatisiertes Fahren, mentale Modelle, Vertrauen, Akzeptanz, Simulatorstudie

#### 4.4.1. Hypothesen und Forschungsfragen

In Studie 2 Experiment 2 wurden die mentalen Modelle, das Vertrauen und die Akzeptanz von hochautomatisiertem Fahren abhängig von unterschiedlichen Systembeschreibungen untersucht. Die Systembeschreibungen unterschieden sich in der Beschreibung der Einschaltbedingung (korrekte vs. inkorrekte Information) und der Übernahmebedingung (korrekte vs. inkorrekte Information). Die gewählte Messmethode war die PDT (zum Beispiel Jahn et al., 2005).

**Systemverstehen (Wissen).** Aufgrund der Ergebnisse aus Studie 1 im Manipulationscheck der Daten aus subjektiven Erhebungsmethoden, wurde in diesem Experiment aufgrund des geänderten versuchsdesign, eine gelungene Manipulation und deren Messung erwartet. In Form eines Manipulationschecks, wurden mehr korrekte Antworten für die Bedingung mit der korrekten Systembeschreibung erwartet als bei denen mit der inkorrekten Systembeschreibung (siehe Studie 2 Experiment 1 Abschnitt 4.3; Beggiato & Krems, 2013). Darüber hinaus wurde erwartet, dass sich die mentalen Modelle auf Grundlage der Einschalt- und der Übernahmebedingung unterscheiden, über die Zeit hinweg jedoch einander annähern. Falls die Einschaltbedingung einen Einfluss auf die wissensbasierte Bildung des mentalen Modells hat, wird eine steilere Lernentwicklung für die inkorrekte Einschaltbedingung erwartet als für die korrekte Einschaltbedingung.

**Reaktionszeit.** Mit Hilfe der RT lässt sich der Einfluss von Systembeschreibungen, wie sie bereits Beggiato and Krems (2013) fanden, objektiv replizieren. Aufgrund der differenzierten Beschreibung von Einschalt- und Übernahmeprozessen in Studie 2 Experiment 2, wurde erwartet, dass, basierend auf den Ergebnissen aus Studie 2 Experiment 1, Probanden in der inkorrekten Einschaltbedingung zum ersten Messzeitpunkt längere RT haben als Probanden in der korrekten Einschaltbedingung.

Wie bereits in Studie 2 Experiment 1 beschrieben, wurden diese Ergebnisse aufgrund von möglichen Aufmerksamkeitsengpässen bei Verwendung der gleichen Ressourcen erwartet. Außerdem wird eine Interaktion zwischen der Fahrphase und der Systembeschreibung erwartet, wobei die inkorrekte Einschaltbedingung geringere RT zeigen sollte, als die Bedingung mit der korrekten Einschaltbedingung. Die Probanden, die eine komplett korrekte beziehungsweise komplett inkorrekte Beschreibung sowohl zu der Einschalt- als auch der Übernahmephase hatten, sollten die Ergebnisse aus Studie 2 Experiment 1 replizieren. Aufgrund der in Studie 2 Experiment 1 gefundenen Annäherung der mentalen Modelle, wurde auch von einer Annäherung der Bedingungen in Studie 2 Experiment 2 ausgegangen.

**Konfidenz.** Da es noch immer unklar ist, ob Konfidenz in die Beantwortung von Wissensfragen tatsächlich mit der Konfidenz selbst korreliert (Talarico & Rubin, 2003), wurde die Konfidenz explorativ analysiert.

**Vertrauen und Akzeptanz.** Gemäß Studie 2 Experiment 1 wurde ein höherer Vertrauenswert für die vollständig korrekte Bedingung (Einschalt- und Übernahmephase korrekt) im Vergleich zur vollständig inkorrekten Bedingung erwartet. Es wurde angenommen, dass das Vertrauen der Bedingung mit inkorrekt beschriebener Einschaltbedingung (und der korrekten Übernahmebeschreibung) im Zeitverlauf schneller ansteigt, als in der Bedingung mit der korrekten Einschaltbeschreibung (und der falschen Übernahmebeschreibung). Es wird vermutet, dass der Akzeptanzwert ähnlich dem von Studie 2 ist und somit keine nennenswerten Unterschiede zu erkennen sind.

#### 4.4.2. Methode

##### **Stichprobe**

Die Stichprobe bestand aus 93 Probanden (45 weiblich, 48 männlich) zwischen 19 und 60 Jahren mit einem durchschnittlichen Alter von 38.31 Jahren (SD= 12.45

Jahren). Alle Probanden nahmen freiwillig an dem Experiment teil und bekamen hierfür eine Aufwandsentschädigung.

### ***Material und experimentelles Design***

Die Studie 2 Experiment 2 wurde in einem MBS mit einer 360° horizontalen Blickweite durchgeführt.

### ***Stimulusmaterial – Erlebte Fahrsituationen***

Die Probanden erlebten fünf Übernahmesituationen (siehe Abbildung 17). Dabei handelte es sich um Situationen, die Systemgrenzen abbildeten, so dass der Fahrer in diesen Situationen die Fahraufgabe übernehmen musste. Der Fahrer wurde durch fehlende Spurmarkierung (A), zu schnellem Führungsfahrzeug (B), Nebel (C), einem Spurwechsel des Führungsfahrzeuges (D) und Verlassen der Autobahn des Führungsfahrzeuges (E) aufgefordert, die Fahraufgabe wieder zu übernehmen.



**A ) fehlende Spurmarkierung**

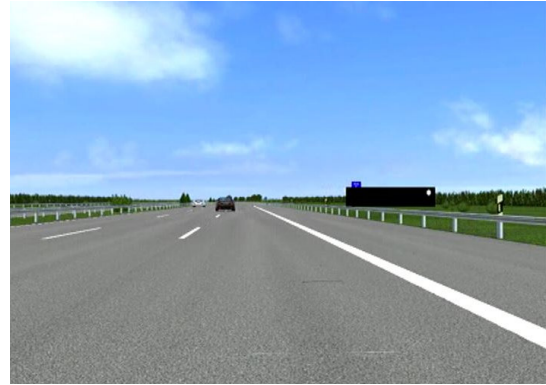


**B) Fehlendes Führungsfahrzeug (Beschleunigung)**

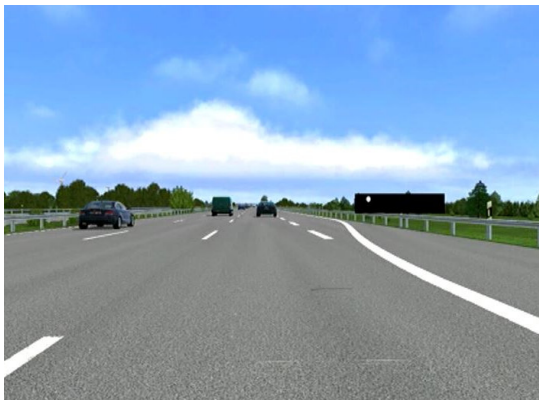




C) Nebel



D) Fehlendes Führungsfahrzeug (Spurwechsel)



E) Fehlendes Führungsfahrzeug (Autobahnausfahrt)

**Abbildung 17:** Erlebte Fahrsituationen und Grenzen des Systems. Der schwarze Balken im Bild stellt die PDT dar.

*Unabhängige Variable*

**Systembeschreibung:** Die Teilnehmer erhielten entweder korrekte oder inkorrekte Informationen, die für alle dargestellten Fahrsituationen relevant sind (siehe Abbildung 17).

*Tabelle 8: Beispiel einer Systembeschreibung aus dem Experiment.*

Einschalten	TOR	Inhalt Einschaltbeschreibung	Inhalt TOR
Korrekt	Korrekt	Sobald das Statussymbol grau ist, ist der ABC nicht verfügbar und kann nicht eingeschaltet werden.	Systemgrenzen: Schlechtes Wetter oder schlechte Sichtverhältnisse.
Korrekt	Inkorrekt	Sobald das Statussymbol grau ist, ist der ABC nicht verfügbar und kann nicht eingeschaltet werden.	Das System kann bei allen Wetterbedingungen und Sichtverhältnissen genutzt werden.
Inkorrekt	Korrekt	Sobald das Statussymbol grau ist, ist der ABC verfügbar und kann eingeschaltet werden.	Systemgrenzen: Schlechtes Wetter oder schlechte Sichtverhältnisse.
Inkorrekt	Inkorrekt	Sobald das Statussymbol grau ist, ist ABC verfügbar und kann eingeschaltet werden.	Das System kann bei allen Wetterbedingungen und Sichtverhältnissen genutzt werden.

*Anmerkung. TOR = Takeover request/ Übernahme, Einschalten = Einschalten/Aktivieren des Systems. ABC = Autobahnchauffeur, so wurde das hochautomatisierte System im Versuch genannt.*

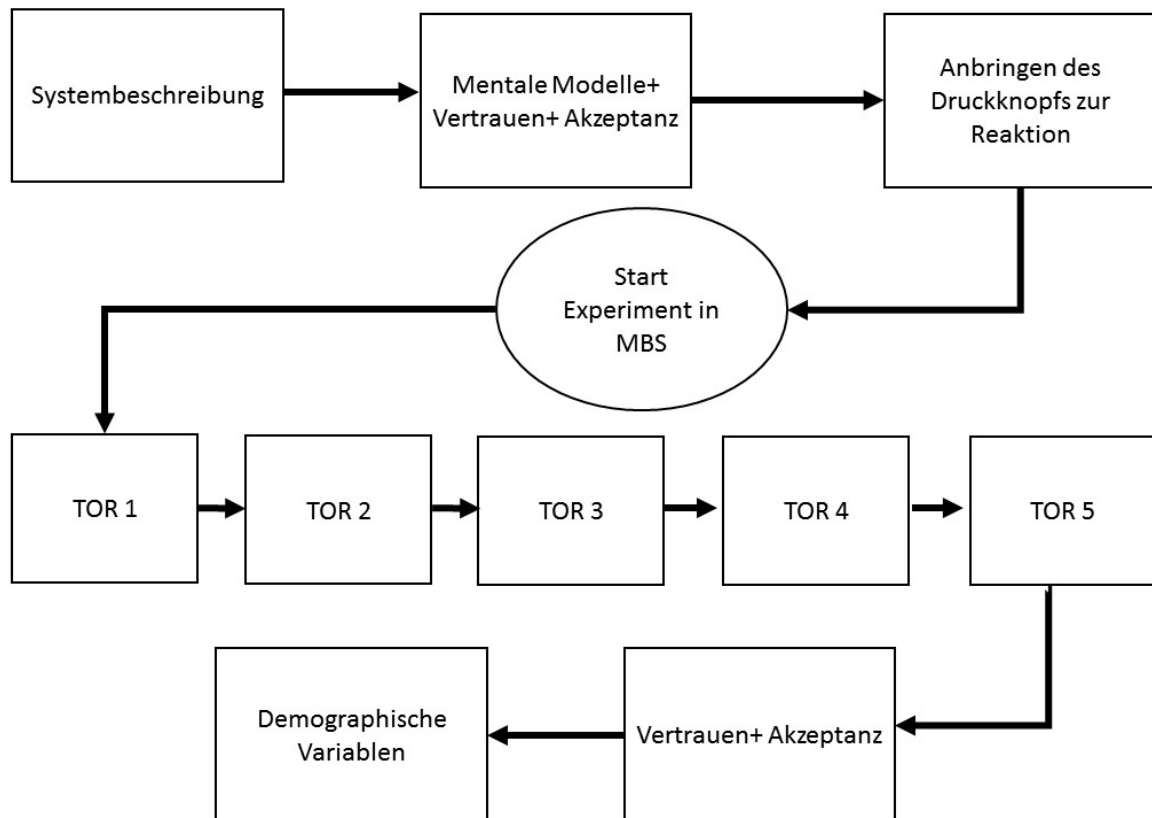
**Messzeitpunkt:** Das mentale Modell, die entsprechende Einschätzung bezüglich der Sicherheit über die Beantwortung (Konfidenzmaß) sowie die Vertrauens- und Akzeptanzfragen wurden am Anfang und am Ende des Experiments gemessen (siehe Abbildung 13). Der Einfluss mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren wurde mit der PDT gemessen (genauere Beschreibung siehe Studie 2 Experiment 1 Abschnitt 4.3).

In Studie 2 Experiment 2 wurden die gleichen abhängigen Variablen wie bereits in Studie 2 Experiment 1 genutzt. Lediglich die subjektiven Fragen zu den mentalen Modellen wurden an das neue Design von Studie 2 Experiment 2 leicht angepasst (vergleiche Anhang 1.B.2 und Anhang 1.C.2).

### *Versuchsablauf*

Vor der Testfahrt unterschrieben die Probanden Einverständniserklärungen, lasen die Systembeschreibung und füllten einen Fragebogen aus, der grundlegende demographische Informationen sowie Fragen zu ihrem mentalen Modell, Vertrauen (Jian, 2000) und Akzeptanz (Van Der Laan et al., 1997) in die Systemfunktionalität enthielt. Die darauffolgende Testfahrt beinhaltete eine ca. 50 km lange Autobahnroute im Moving Base Fahrsimulator (MBS) der Daimler AG. Die Probanden wurden angewiesen, während der gesamten Fahrt die PDT als Nebenaufgabe auszuführen und die Fahraufgabe stets zu priorisieren. Innerhalb dieser Fahrerfahrung erlebten die Probanden fünf verschiedene Situationen (siehe Abbildung 17), in denen sie die Fahraufgabe übernehmen mussten. Die Reihenfolge der Situationen wurde randomisiert.

Nach der Testfahrt beantworteten die Teilnehmer Fragen zu ihrem mentalen Modell, Vertrauen und Akzeptanz.



**Abbildung 18:** Versuchsablauf. TOR = takeover request, Wissen = Daten aus Fragebogen mentaler Modelle

#### 4.4.3. Ergebnisse

Die Analysemethoden waren die gleichen wie in Studie 2 Experiment 1.

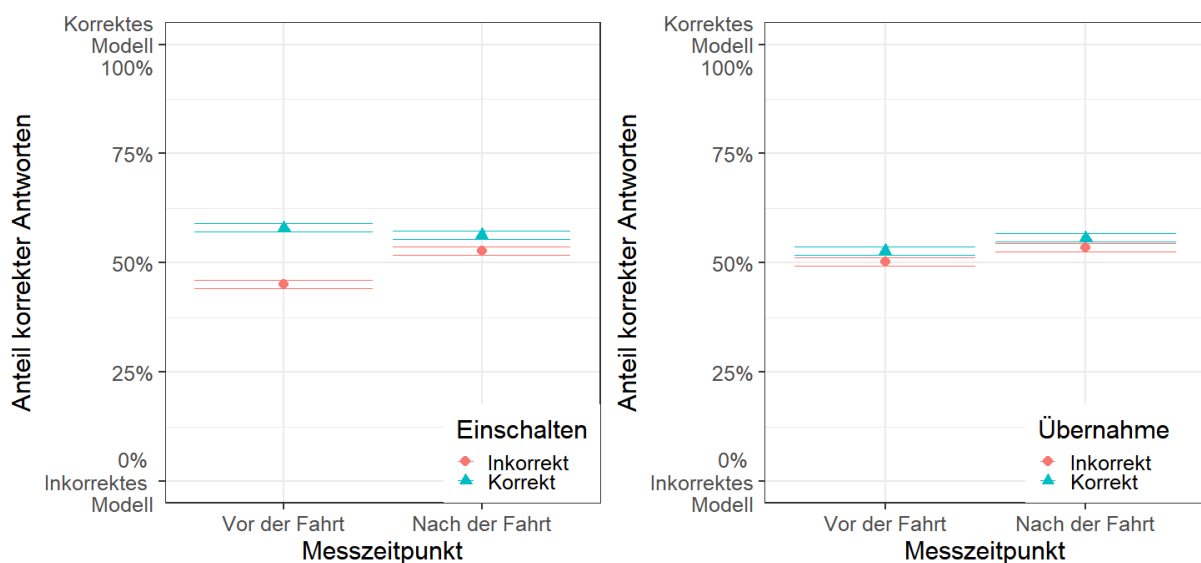
#### *Subjektive Messmethoden*

#### **Mentale Modelle** (Wissensfragen via Fragebogen)

Zur Analyse wurde ein Modell über die Personen als random intercept und mit den Systeminformationen und dem Messzeitpunkt als fixed effects aufgestellt und über die Rohdaten gerechnet. Die Fragen waren auf Grundlage der korrekten Systeminformation kodiert.

Das Hauptergebnis war eine signifikante Interaktion zwischen der Einschaltbedingung der Systembeschreibung und des Messzeitpunktes,  $\chi^2(1) = 6.03$ ,  $p = .014$ . Wie in Abbildung 19 zu erkennen, entwickelte sich das mentale Modell zur Einschaltbedingung nach dem Fahrerlebnis und die mentalen Modelle konvergierten. Probanden mit einem korrekten mentalen Modell zeigten Lerneffekte. Zudem wurde ein Haupteffekt für die Einschaltbedingung der Systembeschreibung gefunden,  $\chi^2(1) = 18.79$ ,  $p < .001$ . Die Manipulation mentaler Modelle basierend auf den Systembeschreibungen konnte in Studie 2 Experiment 2 bestätigt werden. Probanden mit einem korrekten mentalen Modell hatten zum ersten Messzeitpunkt mehr korrekte Antworten als Probanden mit einem inkorrekten mentalen Modell.

Weder die Beschreibung der Einschaltbedingung und der Übernahme-situation ergab einen Interaktionseffekt,  $\chi^2(1) = 0.08$ ,  $p = .776$ , noch die Faktoren Messzeitpunkt und Übernahmebeschreibung,  $\chi^2(1) = 0$ ,  $p = 1.00$ . Ebenso wenig gab es eine signifikante Dreifachinteraktion zwischen beiden Systembeschreibungen und Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 0.01$ ,  $p = .931$ . Die Beschreibung der Übernahme-situation hatten keinen signifikanten Effekt auf das subjektiv gemessene, mentale Modell,  $\chi^2(1) = 1.36$ ,  $p = .243$ . Es gab keinen Haupteffekt für den Faktor Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 2.63$ ,  $p = .105$ .

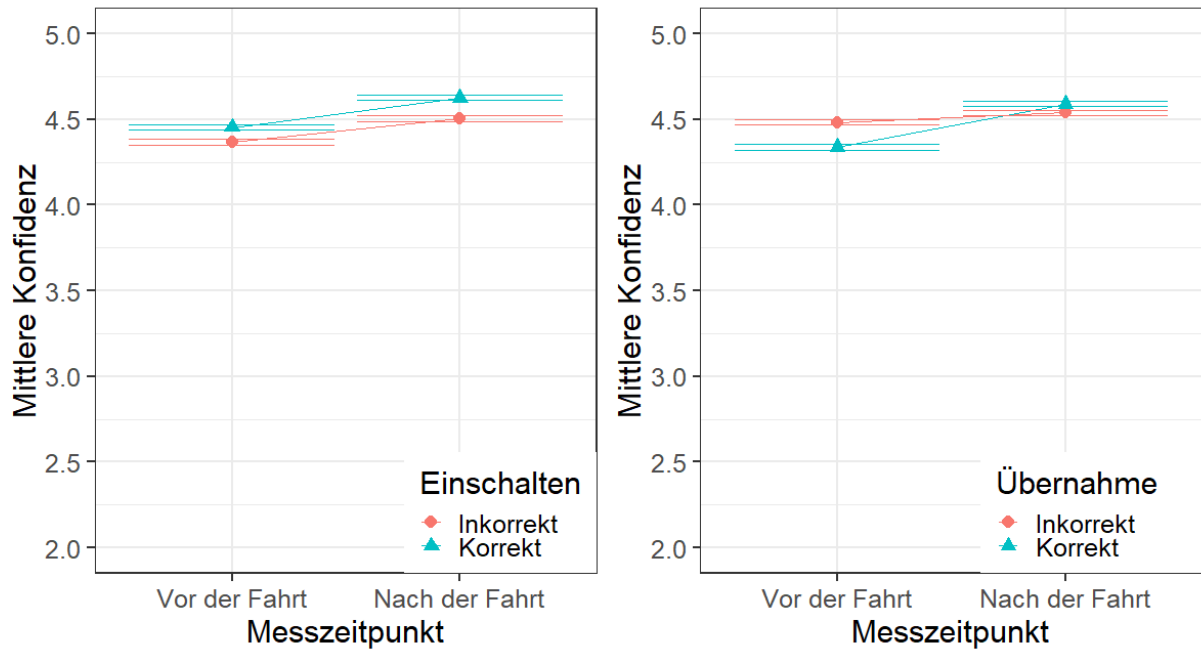


**Abbildung 19:** Anteil korrekter Antworten über die Messzeitpunkte (vor vs. nach der Fahrt) für die Bedingungen mit verschiedenen Einschalt- und Übernahmebeschreibungen (korrekt vs. inkorrekt). Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar.

### **Konfidenz** (subjektive Messmethode im Rahmen eines Fragebogens)

Die Faktoren Systembeschreibung und Messzeitpunkt wurden als fixed effects in das Modell zur Berechnung der Konfidenzwerte eingefügt.

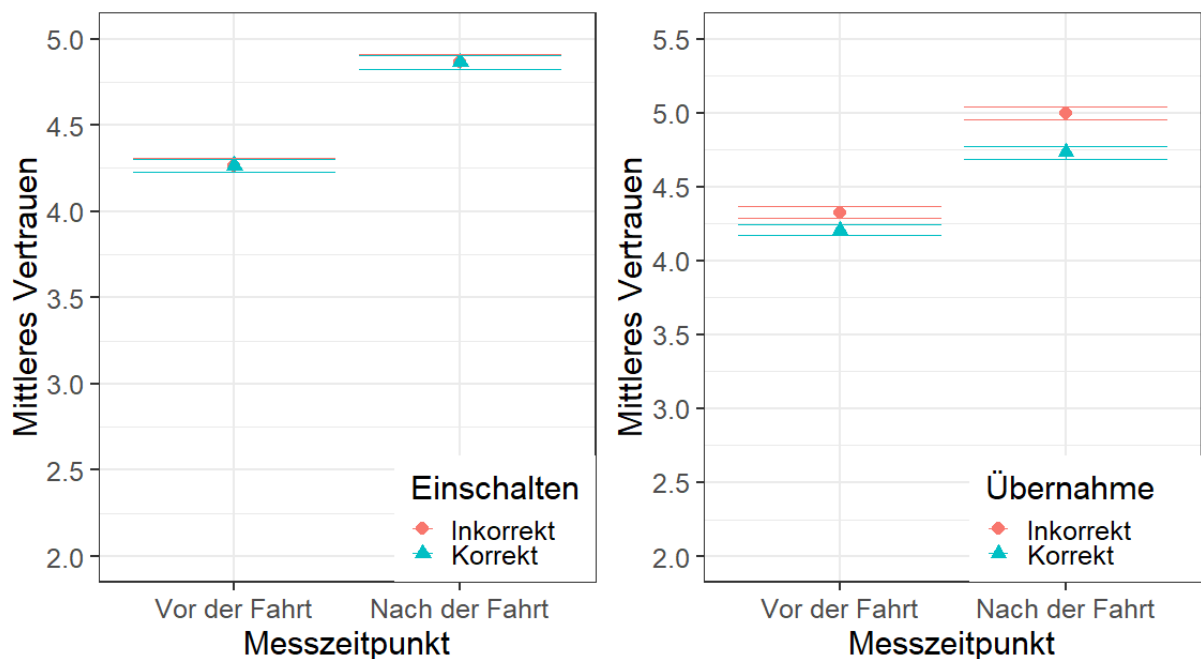
Die Hauptergebnisse waren eine signifikante Interaktion zwischen dem Faktor Übernahme-situation und Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 9.73$ ,  $p = .002$ , und ein Haupteffekt für den Faktor Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 26.15$ ,  $p < .001$ . Wie in Abbildung 20 zu erkennen, gewannen Probanden mit dem korrekten mentalen Modell über die Zeit betrachtet immer mehr an Vertrauen in ihre Antworten (Konfidenzmaß) als die Probanden, die die inkorrekte Beschreibung erhalten haben. Zudem hatten Probanden der korrekten Einschaltbedingung eine höhere Konfidenz als Probanden mit der falschen Einschaltbedingung. Die korrekte Übernahmebeschreibung hatte bei den Probanden ein geringeres Vertrauen in ihre Antworten (Konfidenz) zur Folge als die inkorrekte Übernahmebeschreibung. Weder die Interaktion zwischen den Faktoren Einschalt- und Übernahmebeschreibung,  $\chi^2(1) = 0.47$ ,  $p = .492$ , noch die Interaktion zwischen Einschaltbeschreibung und Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 0.58$ ,  $p = .445$ , oder die Interaktion zwischen Messzeitpunkt, Einschalt- und Übernahme-situation wurde signifikant,  $\chi^2(1) = 0.22$ ,  $p = .638$ .



**Abbildung 20:** Mittlere Konfidenz. Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar.

*Vertrauen in das hochautomatisierte System*

In Orientierung an Studie 2 Experiment 1 wurde ein Modell basierend auf den fixed effects Systembeschreibung und Messzeitpunkt aufgestellt und berechnet.



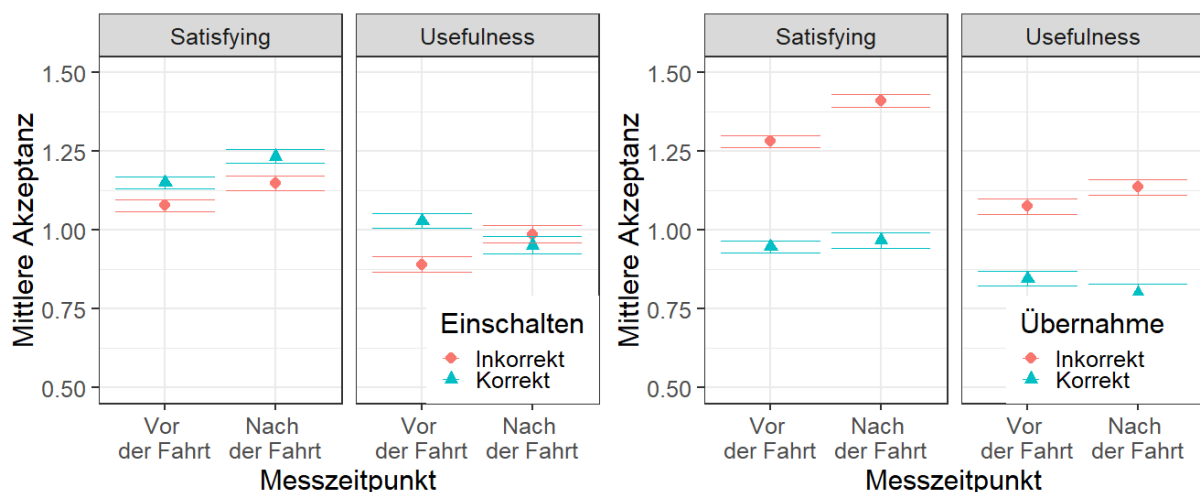
**Abbildung 21:** Mittelwert des Vertrauenswertes der Einschalt- und Übernahme-situationen. Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar.

Wie in Abbildung 21 zu erkennen, gewannen die Probanden über die Zeit hinweg an Vertrauen,  $\chi^2(1) = 54.43, p < .001$ . Der Haupteffekt für die Übernahme-situation wurde nicht signifikant,  $\chi^2(1) = 3.49, p = .062$ .

Der Wald  $\chi^2$  Test ergab keine signifikanten Ergebnisse. Weder für die Interaktion beider Systembeschreibungen (korrekt vs. inkorrekt),  $\chi^2(1) = 2.14, p = .143$ , oder die Übernahmebeschreibung und den Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 0.78, p = .377$ , oder die Einschaltbedingung und den Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 0, p = .991$ , noch für die Übernahme-, Einschaltbedingung und Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 0.01, p = .938$ , konnten signifikante Ergebnisse gefunden werden. Auch der Haupteffekt für die Einschaltbedingung wurde nicht signifikant,  $\chi^2(1) = 0, p = .994$ .

### Akzeptanz in das hochautomatisierte System

Wie in Studie 2 Experiment 1, wurde ein Modell zu den Daten der Akzeptanzskala von -2 ("keine Akzeptanz") bis +2 ("volle Akzeptanz") aufgestellt und berechnet.





**Abbildung 22:** Mittlerer Akzeptanz für die Einschalt- und Übernahmebeschreibung.

Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar.

Der Wald  $\chi^2$  Test ergab signifikante Unterschiede für den fixed factor Systembeschreibung,  $\chi^2(1) = 9.38$ ,  $p = .002$ , und den Faktor Skala, der die beiden Skalen Usefulness und Satisfying als Faktorstufen hatte,  $\chi^2(1) = 21.60$ ,  $p < .001$ . Der Faktor Einschaltbedingung wurde nicht signifikant,  $\chi^2(1) = 0.52$ ,  $p = .469$ . Zudem akzeptierten nicht alle Probanden das System im Zeitverlauf des Experimentes,  $\chi^2(1) = 1.02$ ,  $p = .312$ . Während die Probanden mit der inkorrekten Systembeschreibung das System über den Zeitverlauf des Experimentes akzeptierten, taten dies die Probanden mit der korrekten Systembeschreibung jedoch nicht. Ihr Satisfying score stieg zwar, aber ihr Usefulness score sank über die Zeit.

Es konnte keine Zweifachinteraktion gefunden werden, weder für die beiden Systembeschreibungen,  $\chi^2(1) = 1.52$ ,  $p = .217$ , noch für die Übernahmebeschreibung und den Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 1.74$ ,  $p = .187$ , oder die Einschaltbedingung und den Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 0.64$ ,  $p = .424$ . Ebenso wurde weder das Ergebnis zwischen der Übernahmebeschreibung und der Akzeptanzskala signifikant,  $\chi^2(1) = 1.73$ ,  $p = .189$ , noch das Ergebnis zwischen Einschaltbedingung und Skala,  $\chi^2(1) = 0.11$ ,  $p = .740$ , oder das Ergebnis zwischen Messzeitpunkt und Skala,  $\chi^2(1) = .68$ ,  $p = .410$ . Eine Dreifach- und Vierfachinteraktion ergab keine signifikanten Ergebnisse (siehe Tabelle 8).

*Tabelle 8: Linear mixed-effects Modell zu Akzeptanz*

Faktor	Chisq $\chi^2$	Df	p
Übernahme x Einschalten x Messzeitpunkt	1.14	1	.285
Übernahme x Einschalten x Skala	0.02	1	.881
Übernahme x Messzeitpunkt x Skala	0.00	1	.985
Einschalten x Messzeitpunkt x Skala	1.33	1	.249
Übernahme x Einschalten x Messzeitpunkt x Skala	0.01	1	.942

\* Signifikant mit  $p < .05$  Level.

### *Objektive Messmethoden*

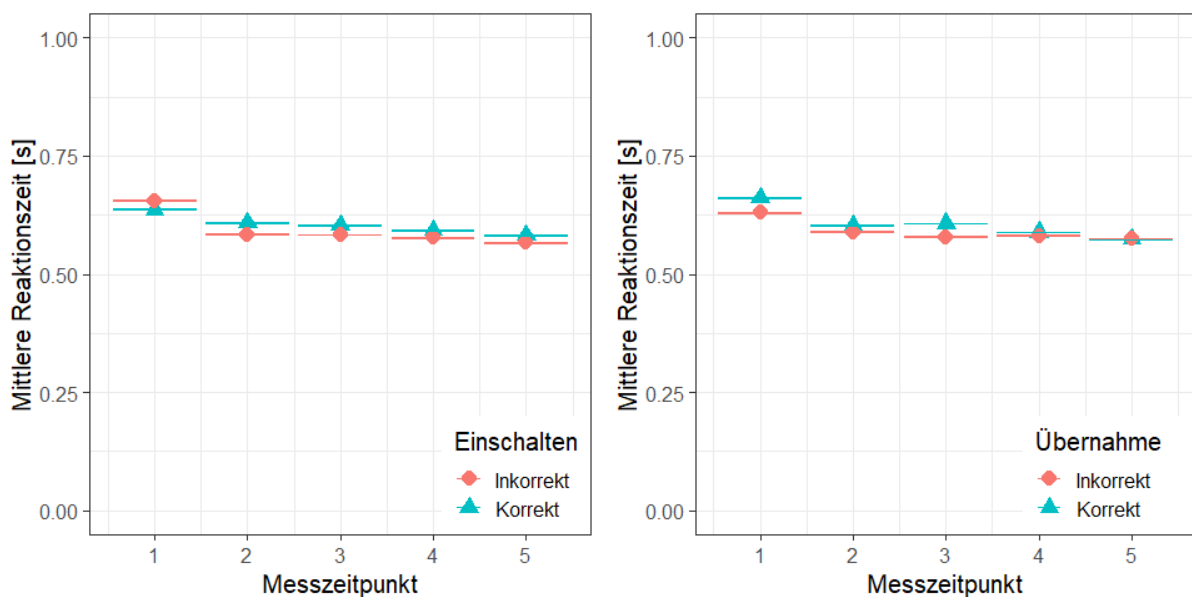
#### **Mentale Modelle** (Reaktionszeiten via PDT)

**Reaktionszeit.** Zur Berechnung des Einflusses der Systembeschreibung auf die RT wurde ein mixed effects model auf Grundlage der Rohdaten und der abhängigen Variable RT aufgestellt.

Fixed effects des Modells waren die Systembeschreibung mit ihren Faktorstufen Einschalt- und Übernahmebeschreibung, der Messzeitpunkt und die Fahrphase (HAF vs. TOR). Die Probanden flossen als random intercept zur Kontrolle assoziierter Intraklassenkorrelationen in das Modell mit ein.

Die Zweifachinteraktion mit dem Faktor Messzeitpunkt wurde für die Einschaltbeschreibung,  $\chi^2(1) = 9.22$ ,  $p = .002$ , die Übernahmebeschreibung,  $\chi^2(1) = 13.59$ ,  $p < .001$ , und die Fahrphase (HAF vs. TOR),  $\chi^2(1) = 47.42$ ,  $p < .001$ , signifikant. Wie in

Abbildung 23 zu erkennen, lernten Probanden beider Bedingungen mit dem hochautomatisierten System und der Zweitaufgabe umzugehen, was zu einer reduzierten RT über die Zeit führte. Ebenfalls zu sehen ist der erwartete Effekt für den ersten Messzeitpunkt. Das Modell errechnete keinen signifikanten Haupteffekt für die Einschaltphase,  $\chi^2(1) = 0.46$ ,  $p = .498$ , und die Übernahmephase,  $\chi^2(1) = 0.647$ ,  $p = .421$ . Allerdings zeigten die Ergebnisse trotz fehlender Signifikanz die gleiche Richtungstendenz wie bereits in Studie 2 Experiment 1. Die Replizierung kürzerer RT für die komplett korrekte Bedingung konnte somit in Studie 2 Experiment 2 erfolgen. Die Haupteffekte der Faktoren Fahrphase,  $\chi^2(1) = 908.71$ ,  $p < .001$ , und Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 428.81$ ,  $p < .001$ , wurden signifikant.



**Abbildung 23:** Mittlere RT für Einschalt- und Übernahmeprozess für Probanden mit korrekter und inkorrekt Systembeschreibung. Fehlerbalken beschreiben den Standardfehler.

Weder die Interaktion zwischen der Einschaltbeschreibung und der Fahrphase,  $\chi^2(1) = 2.12, p = .145$ , noch die Interaktion zwischen der Einschalt- und Übernahmephase,  $\chi^2(1) = 0.53, p = .468$ , oder zwischen der Fahrphase und der Übernahmephase,  $\chi^2(1) = 0.05, p = .823$ , wurden signifikant. Der Signifikanztest ergab keine Dreifach- oder Vierfachinteraktion (siehe Tabelle 9).

*Tabelle 9: Linear mixed-effects Modell für die RT.*

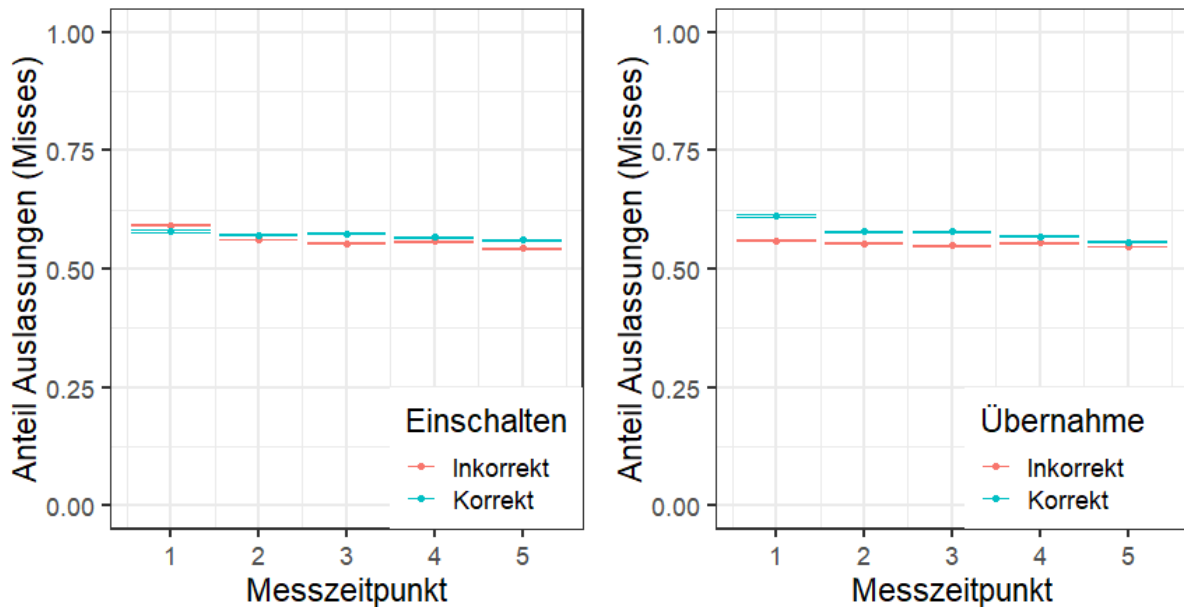
Faktor	Chisq $\chi^2$	Df	p
Einschalten x HAF_TOR x Übernahme	0.09	1	.757
Einschalten x HAF_TOR x Messzeitpunkt	0.24	1	.627
Einschalten x Übernahme x Messzeitpunkt	3.38	1	.066 .
HAF_TOR x Übernahme x Messzeitpunkt	0.14	1	.709
Einschalten x HAF_TOR x Übernahme x Messzeitpunkt	0.22	1	.638

\* Signifikant mit  $p < .05$  Level.

**Misses (Fehler).** Zur Berechnung des Einflusses der Systembeschreibung auf das zweite Leistungsmaß der PDT, die Misses, wurde ein generalisiertes lineares, gemischtes Modell mit den gleichen Parametern wie zuvor bei den RT genutzt.

Auch wenn keine signifikante Interaktion zwischen der Einschaltbedingung und dem Messzeitpunkt gefunden werden konnte,  $\chi^2(1) = 0.15, p = .698$ , so weisen die

Ergebnisse eine Tendenz in die angenommene Richtung der Effekte auf (siehe Abbildung 24). Zum ersten Messzeitpunkt hatten Probanden mit der falschen Einschaltbedingung mehr Misses, als Probanden mit der korrekten Einschaltbedingung.



**Abbildung 24:** Anteil von Misses bei Einschalt- und Übernahmesituation und pro Systembeschreibung. Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar.

Ähnliche Ergebnisse zeigten sich bei der Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Übernahmebedingung,  $\chi^2(1) = 0.02$ ,  $p = .890$ . Zwar war das Ergebnis nicht signifikant, jedoch zeigte sich die gleiche Entwicklung, wie bei den RT (siehe Abbildung 23). Die signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Fahrphase konnte für die Misses repliziert werden,  $\chi^2(1) = 22.65$ ,  $p < .001$ .

Die Interaktionen zwischen Fahrphase und Einschalt-  $\chi^2(1) = 2.65$ ,  $p = .104$ , beziehungsweise Übernahmebedingung wurden nicht signifikant,  $\chi^2(1) = 0.84$ ,  $p = .359$ . Auch die Ergebnisse zwischen Einschalt- und Übernahmebedingung ergab keine Signifikanz,  $\chi^2(1) = 1.81$ ,  $p = .179$ .

Es gab weder signifikante Haupteffekte für die Einschaltbedingung,  $\chi^2(1) = 0.26$ ,  $p = .613$ , noch für die Übernahmebedingung,  $\chi^2(1) = 0$ ,  $p = .992$ . Die Haupteffekte für den Faktor Fahrphase,  $\chi^2(1) = 511.23$ ,  $p < .001$ , und Messzeitpunkt,  $\chi^2(1) = 147.89$ ,  $p < .001$ , wurden signifikant. Auch die Dreifachinteraktion zwischen Einschalt- und Übernahmebedingung sowie Messzeitpunkt wurde signifikant. Darüber hinaus konnten keine weiteren signifikanten Effekte berechnet werden (siehe *Tabelle 10*).

*Tabelle 10: Generalized mixed-effects Modell für die Misses*

Faktor	Chisq $\chi^2$	Df	p
Einschalten x HAF_TOR x Übernahme	0.44	1	.510
Einschalten x HAF_TOR x Messzeitpunkt	0.05	1	.819
Einschalten x Übernahme x Messzeitpunkt	5.11	1	.024*
HAF_TOR x Übernahme x Messzeitpunkt	0.41	1	.522
Einschalten x HAF_TOR x Übernahme x Messzeitpunkt	0.03	1	.874

\* Signifikant für  $p < .05$  Level.

#### 4.4.4. Diskussion

Das übergeordnete Ziel der Studie 2 Experiment 2 war es, den Einfluss der Systembeschreibung auf die mentalen Modelle beim hochautomatisierten Fahren bezogen auf den Aufbau und die Aktualisierung zu ermitteln. Ähnlich wie Krems and

Baumann (2009) und Beggiato and Krems (2013), war die Grundannahme dieser Studie, dass während dem hochautomatisierten Fahren das Wissen über das technische System in Form von mentalen Modellen, deren Aufbau und Aktualisierung eine Schlüsselrolle spielen. Die Manipulation der mentalen Modelle auf Basis von verschiedenen Systembeschreibungen konnte in Studie 2 Experiment 2 erfolgreich umgesetzt werden. Der Lerneffekt in der inkorrekten Bedingung und das Konvergieren der verschiedenen mentalen Modelle hin zu einem inhaltlich gleichen mentalen Modell konnte ebenfalls in Studie 2 Experiment 2 gezeigt werden (vergleiche Studie 2 Experiment 1; Beggiato & Krems, 2013).

Die Entwicklung mentaler Modelle auf Grundlage subjektiver Erhebungsmethoden zeigte einen interessanten Trend. Die Richtung, in die sich das mentale Modell veränderte, war anders als erwartet. Während in der Literatur ein Anstieg von Wissen nach dem Fahren und dem konkreten Fahrerlebnis folgte (vergleiche Beggiato & Krems, 2013), zeigte sich in Studie 2 Experiment 2, dass Probanden weniger Fragen nach dem Fahrerlebnis korrekt beantwortet hatten, als sie es vor dem Fahren getan hatten.

Das Vertrauen in die eigenen Antworten (Konfidenz) bezogen auf die subjektiven Wissensfragen hing von der Übernahmesituation und dem Messzeitpunkt ab. Bezogen auf den Einschaltprozess zeigten die Probanden der korrekten Bedingung einen steileren Konfidenzanstieg, als die Probanden der inkorrekten Bedingung. Es konnte keine Tendenz zur Annäherung der Konfidenz über die Zeit beobachtet werden.

Die Daten aus der objektiven Messmethode wiesen eine Annäherung der mentalen Modelle sowohl für den Einschalt- als auch für den Übernahmeprozess auf. Zudem entwickelten sich die RT im Einschalt- und Übernahmeprozess in die angenommene Richtung (vergleiche Abbildung 23). Zum Zeitpunkt des ersten Aktivierens des

hochautomatisierten Systems, reagierten Probanden mit einem inkorrekten mentalen Modell langsamer als Probanden mit einem korrekten mentalen Modell. Diese Beziehung kehrte sich zur zweiten Einschaltphase um und blieb bis zum Ende des Versuchs bestehen. Dieser Effekt war in Studie 2 Experiment 1 nicht zu erkennen. In Studie 2 Experiment 2 wurde hingegen deutlich, dass zum Zeitpunkt des Einschaltens des Systems das mentale Modell bereits aktualisiert wird und der Fahrer auf die möglichen Inkonsistenzen zwischen mentalem Modell und erlebter Situation vorbereitet wird. Dies zeigt, dass ein fehlerhaftes mentales Modell zu einem aufmerksamkeitsbelastenden mentalen Prozess führt, was wiederum in geringeren RT mündet. Dieser Effekt ist jedoch zeitlich sehr kurzfristig und war unter dem in Studie 2 Experiment 1 gesetzten experimentellen Design nicht zu erkennen. Studie 2 Experiment 2 lieferte jedoch die Erklärung für die in Studie 2 Experiment 1 unerwartete Richtung des gefundenen Effekts. Die Berücksichtigung des Einschaltprozesses bei der kontrollierten Manipulation der Systembeschreibung half, diesen Effekt aufzudecken, und die Sensitivität der PDT zu vermitteln. Über die Zeit betrachtet näherten sich die mentalen Modelle einander an. Somit ist klar erkennbar, dass die Systembeschreibung einen großen Einfluss auf das mentale Modell und die ablaufenden mentalen Verarbeitungsprozesse von Informationen beim hochautomatisierten Fahren hat.

### 4.5. Generelle Diskussion – Studie 2 Experiment 1 und 2

In den beiden Experimenten der Studie 2 dieser Arbeit wurden mentale Modelle beim hochautomatisierten Fahren mit dem Schwerpunkt Aufbau und Aktualisierung untersucht. Der Einfluss mentaler Modelle auf das Vertrauen in und die Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen wurde ebenfalls untersucht.

*Daten aus subjektiven Erhebungsmethoden– Manipulation mentaler Modelle mit Hilfe einer Systembeschreibung*



*Mentale Modelle induziert über eine vorab gereichte Systembeschreibung*

Bislang existieren vor allem auf subjektiven Messmethoden basierende empirische Untersuchungen zum Einfluss mentaler Modelle bei automatisierten Fahrzeugen (zum Beispiel Beggiato & Krems, 2013). Aus diesem Grund beginnt auch die Diskussion mit diesem Punkt.

Die Manipulation und die Kontrolle von mentalen Modellen sind nicht trivial. Larsson (2012) konnte zeigen, dass einige ACC (Active Cruise Control = System zur Unterstützung des Fahrers in der Längsführung) Nutzer Probleme hatten, ein verständliches mentales Modell zu dem ACC System aufzubauen, bevor sie es erstmals selbst erlebten. In weiteren Studien konnte gezeigt werden, dass der Aufbau von mentalen Modellen unerwartet viel Zeit benötigt (Forster, Hergeth, Naujoks, Beggiato et al., 2019). Eine mögliche Erklärung liegt in der Aufbereitung der Informationen, aus denen das mentale Modell aufgebaut werden sollte. So handelte es sich um Benutzerhandbücher, die eine sehr passive und vor allem umgeleitete Methode des Lernens darstellen, in denen die Probanden die Übersicht verlieren könnten (Wickens, Hollands, Banbury, & Parasuraman, 2015). Die Methode, mentale Modelle mit Hilfe von Systeminformationen zu induzieren, war jedoch bereits in Studie 1 gelungen und auch Beggiato and Krems (2013).

Auch in Studie 2 Experiment 2 war die Manipulation über die Systembeschreibung gelungen. Zum ersten Messzeitpunkt zeigten die Probanden mit der inkorrekten Systembeschreibung eine höhere Fehlerrate bei der Beantwortung der Fragen, als die Probanden mit der korrekten Systembeschreibung. Zudem konnten die Ergebnisse von Studie 2 Experiment 1 mit denen aus Studie 2 Experiment 2 erklärt werden. So

war aus Studie 2 Experiment 1 erkennbar, dass eine Interaktion zwischen der Systembeschreibung und dem Messzeitpunkt bestand. In Studie 2 Experiment 2 konnte gezeigt werden, dass diese Interaktion größtenteils auf Grundlage des Haupteffektes der Einschaltbeschreibung hochautomatisierter Fahrzeuge beruht. Das gleiche konnte für den Haupteffekt der Systembeschreibung aus Studie 2 Experiment 1 gezeigt werden, der in Studie 2 Experiment 2 zu einem Haupteffekt für die Einschaltbedingung wurde. Der in Studie 2 Experiment 1 entstandene Haupteffekt des Messzeitpunktes wurde somit in Studie 2 Experiment 2 nicht gefunden. Dieses der Datenstruktur zu Grunde liegende Muster konnte in Studie 2 Experiment 1 nicht gefunden werden, da die entsprechenden Faktoren zum Zeitpunkt der Studie 2 Experiment 1 nicht bekannt waren (Einschalt- und Übernahmephase).

Studie 2 Experiment 1 und 2 unterschieden sich bezüglich der subjektiven Befragungsmethode von der Studie von Beggiato and Krems (2013). Die Fragen der vorliegenden Arbeit benötigten eine inhaltliche Anpassung der Fragen aufgrund der fortgeschrittenen Technik. Während Beggiato and Krems (2013) eine assistierte Automation untersuchten, wurde in dieser Arbeit eine hochautomatisierte Automation untersucht. Neben dieser inhaltlichen Anpassung wurde eine weitere Änderung der Befragung eingeführt, die Konfidenz. Diese zusätzliche Änderung erlaubt es, die subjektiven Antworten der Probanden eingehender zu bewerten. Einerseits nutzt die subjektive Messmethode dichotome Fragen, um die Übereinstimmung oder Ablehnung einer Frage zu bewerten. Andererseits wird eine Skala verwendet, um die Konfidenz in die eigene Antwort zu bewerten. Diese Methode verhindert eine undefinierte Streuung in der Beantwortung dichotomer Fragen auf einer Skala (vergleiche Beggiato & Krems, 2013). Damit konnte gezeigt werden, dass die Einschaltbedingung für die Bildung und

Aktualisierung mentaler Modelle wichtig ist. Es zeigte sich ebenfalls, dass die Übernahmebedingung für die Konfidenz wichtig war. Die Systembeschreibung mit Einschaltbedingung führte zu einer höheren Konfidenz (Studie 2 Experiment 2).

Zusammenfassend zeigte sich, dass die Systembeschreibung den Aufbau mentaler Modelle beeinflusst und die PDT sich eignet, um sensitive, zeitlich sehr kurzfristige Veränderungen in der Informationsverarbeitung auf Grundlage von mentalen Modellen zu erkennen. Hinzu kommt, dass die Beschreibung von Systemfunktionen und die Detailtiefe dieser Beschreibung Auskunft zu weiteren mentalen und verarbeitungsspezifischen Prozessen geben kann. Diese Studie bietet somit einen wichtigen Beitrag in der Erforschung mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren sowohl auf der methodischen Ebene (objektive Messmethode, detailgetreue Systembeschreibung und differenzierte subjektive Abfrage von Wissen) als auch auf der inhaltlichen Ebene (Systembeschreibungen bilden ein mentales Modell, welches nicht alleine durch das Fahrerlebnis aktualisiert wird). Es können weitere Fragestellungen aus den Ergebnissen dieser Studie abgeleitet werden, die der Forderung nach einer besseren empirischen Grundlage für die Beschreibung hochkomplexer, automatisierter Fahrzeuge bietet (vergleiche Victor et al., 2018).

Subjektive Methoden alleine bieten weniger große Interpretations- und Bewertungsmöglichkeiten als zusätzliche objektive Methoden. Aus diesem Grund wurden sie nicht als alleinige Messmethode in den Experimenten genutzt. Ihnen zur Seite wurde eine objektive, Messmethode gestellt.

*Mentale Verarbeitung von Informationen – Methode*

Wie in Modell 1 beschrieben, wurde angenommen, dass die Beeinflussung von Prozessen der mentalen Verarbeitung von Informationen beim hochautomatisierten Fahren objektiv gemessen werden kann. Wenn das mentale Modell zu der aktuellen Situation passt, ist der Mensch fähig, neben der Übernahme mentale Standardverarbeitungsprozesse während des hochautomatisierten Fahrens auszuüben (zum Beispiel: Bearbeitung einer Einfachreaktionsaufgabe; PDT). Falls das mentale Modell jedoch nicht dem entspricht wie das Fahrzeug in einer realen Situation reagiert, das mentale mit dem aktuellen technisch umgesetzten Situationsmodell also nicht übereinstimmt, dann führt dies zu Irritationen. Das wiederum sollte zum einen mit einer längeren Dauer der Verarbeitung einhergehen und zum anderen mit einer anderen Prozesskette, da die neuen Informationen in das mentale Modell integriert werden müssen. Diese Integration sollte erneut Zeit kosten aber vor allem die mentale Verarbeitungskapazität beanspruchen. Die dadurch verlangsamte mentale Verarbeitung sollte in der objektiven Messmethode (PDT) eher identifiziert werden können, als es mit den subjektiven Methoden zu den mentalen Modellen möglich ist. Aus diesem Grund wurden zwei ISO Standardisierte Methoden (ISO 17488: 2016), PDT und TDRT, herangezogen. Diese beiden Methoden sind nicht neu, haben jedoch ihre Sensitivität und Vereinbarkeit mit der Fahraufgabe empirisch bestätigen können (zum Beispiel Jahn et al., 2005; Ranney et al., 2014b). Da die Fahraufgabe selbst eine primär visuelle Aufgabe ist (Wierwille et al., 1996; Sivak, 1996), wurde auf Grundlage des multiplen Ressourcenmodells (zum Beispiel Wickens, 2008) erwartet, mit einer visuellen Zweitaufgabe (PDT) im Stande zu sein, eine Überlastung auf dem visuellen Sinneskanal messen zu können. Das multiple Ressourcenmodell (zum Beispiel Wickens, 2008) postuliert, dass zwei Aufgaben, die die gleiche Ressource nutzen, eine hohe Interferenz erzeugen sollten. Diese Interferenz sollte mit Hilfe der PDT gemessen werden. Da jedoch auch eine Überlastung des visuellen Sinneskanals denkbar wäre wurde eine weitere, alternative

Zweitauflage auf Grundlage der Detektionsaufgaben (ISO 17488: 2016) gewählt (TDRT).

Für die Studie 2 Experiment 1 und 2 konnte die erwartete Annäherung der mentalen Modelle, gemessen über die RT, mit Hilfe der PDT gezeigt werden. Dies replizierte auf objektiver Grundlage die Daten aus den subjektiven Erhebungsmethoden von Beggiato and Krems (2013): mentale Modelle, die sich aufgrund von verschiedenen Systembeschreibungen aufgebaut hatten, näherten sich auf Grundlage der gemeinsamen Erfahrungen einander an. Da die Versuche nie länger als 50 Minuten dauerten, ist dieser Effekt innerhalb der Zeitspanne beachtlich und weist auf eine hocheffiziente, rasante Anpassung unserer mentalen Modelle an äußere Umgebungen hin. Dennoch ist eine Situation durch Erleben nicht immer die geeignetste Methode, zu lernen wie das System mit Systemgrenzen umgeht. In einer kontrollierten Versuchsbedingung können zwar auf Risiken hingedeutet werden, aber im Realverkehr sollte bereits vor dem ersten Erleben ein adäquates mentales Modell bestehen um Unfälle zu vermeiden.

Die erwartete Interaktion zwischen Systembeschreibung und Messzeitpunkt konnte nicht mit der taktilen Aufgabe gezeigt werden (TDRT). Die Annäherung der verschiedenen Modelle war nicht mit Hilfe der TDRT abbildbar, die Beggiato and Krems (2013) bereits zeigen konnten und die mit Hilfe der PDT auch in dieser Arbeit ersichtlich wurde.

Die PDT wird aufgrund ihrer theoretischen Basis und empirischen Befunde in dieser Arbeit und vorherigen (zum Beispiel Wickens, 2008; Cohen & Hirsing, 1991; Sivak, 1996), als eine Messmethode für weitere Versuche empfohlen.

### *Mentale Verarbeitung von Informationen – Systembeschreibung*

Das Fahren hochautomatisierter Systeme unterscheidet sich vom Fahren assistierter oder manueller Systeme. Fahrer müssen sich darüber bewusst sein, wie sie die Automation einschalten, welches System sie einschalten und welche Systemgrenzen damit einhergehen. Die verschiedenen Prozesse des hochautomatisierten Fahrens wie das Einschalten und die Übernahme, wurden in Studie 2 Experiment 1 nicht ausreichend getrennt betrachtet. Dies führte zu einer aus bisherigen Theorien nicht erklärbaren Ergebnislage. Die Kontrolle und vollständige Abbildung des Fahrprozesses ist somit notwendig, um die mentalen Informationsverarbeitungsprozesse darstellen und verstehen zu können und ein vollständiges mentales Modell aufzubauen. Somit ist in erster Linie das mentale Modell nur so gut, wie es beschrieben wurde. Die Kontrolle dieser einzelnen Fahrstufen führte in Studie 2 Experiment 2 jedoch dazu, dass die Hypothesen aus Studie 2 Experiment 1 bestätigt und die Ergebnisse aus Studie 2 Experiment 1 erklärbar wurden. So ergab Studie 2 Experiment 2, dass die Probanden der inkorrekten Bedingung langsamer während der Fahrt zum Zeitpunkt der ersten Messung reagierten im Vergleich zu Probanden der korrekten Bedingung. Für die späteren Messzeitpunkte, war dieser Effekt umgekehrt und die inkorrekte Bedingung zeigte schnellere RT im Vergleich zur korrekten Bedingung (siehe Abbildung 23).

### *Vertrauen und Akzeptanz*

Die Effekte aus Beggiato and Krems (2013) konnten für das hochautomatisierte Fahren nicht vollkommen repliziert werden. Lediglich die Tendenz der in diesen Studien berechneten Ergebnisse stimmen mit denen von Beggiato and Krems (2013) überein. So konnte in Studie 2 Experiment 1 und 2 ein Anstieg des Vertrauens durch

eine größere Fahrerfahrung dargestellt werden. Aufgrund der geänderten Beschreibung der Systemfunktionalität in Studie 2 Experiment 2, war erkennbar, dass der Faktor Übernahmebeschreibung eine Rolle sowohl für das Vertrauen, als auch für die Akzeptanz spielte.

In Folgeversuchen sollte eine weitere Steigerung der ökologischen Validität erreicht werden, indem die Fragestellung in einem Realfahrzeug untersucht wird. Denn es wäre möglich, dass die simulierte Fahrt zwar eine realistischere Fahrerfahrung liefert als im Labor (vergleiche Blömacher et al., 2018), diese dennoch für die Konzepte Vertrauen und Akzeptanz nicht ausreichend ist und eine Fahrerfahrung im realen Straßenverkehr notwendig ist.

#### *Methodologische Implikationen und Ausblick für künftige Studien*

Die Anpassung der Detektionsaufgaben mit der Absicht, kurzfristigere mentale Prozesse, die bei der Generierung und Aktualisierung von mentalen Modellen eine Rolle spielen könnten, zu messen, kann für weitere Studien übernommen werden, da ihre Praktikabilität in den beschriebenen Studien dargelegt wurde.

Wie die Ergebnisse der Studie 2 Experiment 1 und 2 zeigen, ist eine kritische Auseinandersetzung mit den Inhalten eines aufzubauenden mentalen Modells eines hochautomatisierten Fahrzeuges und dem hochautomatisierten Fahrzeug tatsächlich zu Grunde liegenden mentalen Modell, dringend zu empfehlen. Nur wenn das beschriebene mentale Modell alle erlebbaren, technischen Prozessschritte abbildet, können die Ergebnisse interpretiert und begründet werden (Norman, 1983). Dies haben die Studie 2 Experiment 1 und 2 nachdrücklich zeigen können.

Die Experimente der Studie 2 machten ebenfalls darauf aufmerksam, dass die Methode, mit der mentale Modelle gemessen und interpretiert werden sollen, auf

Grundlage vorhandener theoretischer Ausarbeitungen ebenfalls kritisch hinterfragt und angewendet werden sollten.

Während Beggiato and Krems (2013) und die Studie 1 dieser Arbeit lediglich Daten aus subjektive Erhebungsmethoden zur Interpretation zur Verfügung hatten, lagen in den Experimenten der Studie 2 zusätzlich Daten aus objektive Erhebungsmethoden vor, die eine gewisse Verallgemeinerung der Ergebnisse zuließen. Die Verallgemeinerung bei den Daten aus subjektiven Erhebungsmethoden ist nicht mehr möglich, sobald sich bereits Kleinigkeiten an den Fragebögen ändern. Da dies aufgrund der schnellen Entwicklung automatisiert fahrender Fahrzeuge der Fall ist, sind die Ergebnisse schnell veraltet und dann nicht auf neue, höhere Automationen zu verallgemeinern.

Die Experimente der Studie 2 zeigten, dass die PDT eine passende und sehr sensitive Methode ist, mentale Modelle beim hochautomatisierten Fahren zu messen. Dennoch sollte in weiteren Studien untersucht werden, welche anderen objektiven Methoden eine sinnvolle Alternative zur PDT darstellen. Zu diesem Zweck wäre mehr Forschung im Bereich der Messmethoden notwendig.

Wie von Payre, Cestac, Dang, Vienne, and Delhomme (2017) vorgeschlagen, wäre ein Training eine weitere Methode für den Fahrer, zu lernen, mit der Automation und dessen Grenzen umzugehen. In diesem Sinne wäre eine Langzeitstudie interessant, um zu sehen, welchen Einfluss das Training gegenüber der real-life Erfahrung hat (vergleiche Richardson, 2019). Lernen die Fahrer so sicherer und oder schneller die Grenzen des Systems und das System selbst kennen? Oder werden die Gegenstände aus dem Training wegen seltener Anwendbarkeit schneller wieder vergessen und können in späteren Situationen nicht abgerufen und angewendet werden?



#### 4.6. Studie 2 Fazit

Aus den Ergebnissen der Studie 2 lässt sich der Hinweis für zukünftige Studien ableiten, die Messmethoden und die Manipulation stets einer kritischen Überprüfung zu unterziehen. Darüber hinaus liefern die Ergebnisse der Studie 2 bereits eine erste kritische Überprüfung der Messmethoden und ihrer Anwendung im Bezug auf das hochautomatisierte Fahren und haben direkte praktische Relevanz für die Serienentwicklung und für weitere empirische Untersuchungen im Bereich mentale Modelle. Zudem bieten die in dieser Studie präsentierten Methoden und Daten neue Einblicke in die Auswirkung von Systembeschreibungen auf die Verarbeitung und Wahrnehmung und somit auf das Wissen, das nicht verbalisiert werden kann. Für ein vollständigeres Bild des Einflusses von Systembeschreibungen auf die Wahrnehmungsverarbeitung in automatisierten Fahrsituationen wird es notwendig sein, die Systembeschreibungen, die Komplexität deren Inhalte, die Messmethoden, Fahrsituationen und die Umwelt in weiteren empirischen Untersuchungen zu betrachten. Wenn möglich, kann ein weiterer unkontrollierter Zustand (zum Beispiel das Fehlen einer Beschreibung von Fahrzeugfunktionen) einen tieferen Einblick in die mentalen Modelle des hochautomatisierten Fahrens geben. Zu beachten bleibt hier, dass diese Versuchsbedingung (das Fehlen einer Beschreibung) nicht ausreichend kontrolliert werden kann. Dennoch wäre ein Vergleich dieser Bedingung mit den anderen unter Umständen hoch aufschlussreich.

Da die durchgeführten Studien nicht nur mentale Modelle beim hochautomatisierten Fahren untersucht haben, sondern auch das Vertrauen in und die Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen in Abhängigkeit von mentalen Modellen, handelt es sich um eine umfangreiche empirische Darstellung. Die Ergebnisse unterschieden sich jedoch in innerhalb der Studie 2, was auf die Systembeschreibung der Übernahme-situation zurückzuführen ist. Die Ergebnisse der Variablen Vertrauen aus Studie 2 Experiment 1, konnten in Experiment 2 repliziert und genauer dargestellt werden.

Zusammenfassend kann verbalisiertes Wissen und Informationsverarbeitungsprozesse (Aufbau und Aktualisierung mentaler Modelle) durch eine Systembeschreibung beeinflusst werden. Diese Ergebnisse sind vor dem Hintergrund zu sehen, dass die Daten mit einem Simulator erhoben wurden. Zum Beispiel ist derzeit nicht bekannt, ob der Simulator die Wahrnehmungsverarbeitung beeinflusst. Eriksson, Banks, and Stanton (2017) weisen jedoch darauf hin, dass die Validität der Mensch-Maschine-Interaktion in hochautomatisierten Fahrzeugen im Fahrsimulator gültig sein sollte. Darüber hinaus ist es ungewiss, ob ein vorheriges, interindividuelles, mentales Modell bei den Probanden existierte, aber vor dem Versuchsleiter nicht verbalisiert werden konnte. Mehr Forschung wird benötigt, um unsere Ergebnisse zu verifizieren und zu erweitern.

## 5. Allgemeine Diskussion

Die Einführung hochautomatisierter Fahrzeuge geht mit einem Paradigmenwechsel für den Fahrer einher. Er wird von einem aktiven Akteur zu einem passiven Voyeur. Dieser Wechsel in der Fahrerverantwortung wird sich auf verschiedene Prozesse, die mit dem Systemverstehen, der Akzeptanz von und dem Vertrauen in hochautomatisierte Fahrzeuge zu tun haben, auswirken. Da der Fahrer nach wie vor in die Fahraufgabe mit einbezogen werden kann (zum Beispiel bei nicht für das hochautomatisierte Fahren freigegebenen Strecken), bedeutet dieser Paradigmenwechsel auch, dass der Fahrer eine Aufgabe mehr erfüllen muss. Er muss nicht nur zu jeder Zeit über seinen eigenen aktuellen Stand, den des Fahrzeuges und den der Umgebung, sondern auch jeder Zeit über den Systemzustand und mögliche Konsequenzen beziehungsweise zukünftige Aktionen Bescheid wissen. Somit ist das Systemverstehen von hochautomatisierten Systemen sicherheitsrelevant für den Fahrer solcher Fahrzeuge, aber auch für andere, umgebende Fahrzeuge und Verkehrsteilnehmer.

Die vorliegende Arbeit behandelt genau dieses Thema indem sie das Systemverstehen in Form von Bildung und Aktualisierung mentaler Modelle hochautomatisierter Fahrfunktionen näher beleuchtet. Zudem werden Bemühungen beschrieben, Systemverstehen subjektiv (zum Beispiel über einen Fragebogen) wie auch objektiv (zum Beispiel über DRT Methoden im Rahmen einer Zweitaufgabe) messbar und benennbar zu machen.

Mentale Modelle lassen sich bereits jetzt subjektiv messen (vergleiche Beggiato & Krems, 2013), bieten jedoch keine Vergleichbarkeit über verschiedene Entwicklungsstände der Automation. Werden Fragen für Level 2 Systeme entworfen, so fragen diese spezifisch das mentale Modell eines Level 2 Systems ab und können folglich

nicht in Studien für Level 3 Systeme genutzt werden. Dies ermöglicht somit keine hinreichende Vergleichbarkeit über die Automationsstufen hinweg.

Objektive Messungen zum Einfluss mentaler Modelle auf das hochautomatisierte Fahren können indirekt über das Zweitaufgabenparadigma abgeleitet werden. Sie ermöglichen eine reliable Messung über verschiedene Automationslevel hinweg.

Mit Hilfe von drei Experimenten und drei Methoden wurde in dieser Arbeit folgenden Forschungsfragen nachgegangen um einen Einblick in den Aufbau und die Aktualisierung mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren zu bekommen.

- (1) Wird auf Grundlage einer Systembeschreibung ein mentales Modell aufgebaut und angewendet?
- (2) Findet eine Anpassung des mentalen Modells auf Grundlage von (Fahr-) Erfahrung statt?
- (3) Kann Systemverstehen objektiv gemessen werden? Welche objektive Methode eignet sich zur Messung von Systemverstehen?
- (4) Sind das Vertrauen und die Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen beeinflusst durch mentale Modelle und deren Änderungen über die Zeit?

Die im Folgenden diskutierten Experimente entwickelten sich von einem labor-ähnlichen Versuch zu Beginn (Studie 1), über eine Untersuchung verschiedener objektiver Methoden (Studie 2 Experiment 1), zu einer Validierung der geeigneten objektiven Methode zur Untersuchung mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren (Studie 2 Experiment 2).

Die Methoden, die in dieser Ausarbeitung genutzt wurden, orientierten sich an den Modellen zu SA, mentalen Modellen und Aufmerksamkeit sowie die damit verbundene Informationsverarbeitung (siehe Abschnitt 2.4).

In den folgenden Kapiteln werden die Befunde dieser Arbeit unter Einbeziehung der Literatur und auf Grundlage der genannten Forschungsfragen diskutiert.

### 5.1. Wird auf Grundlage einer Systembeschreibung ein mentales Modell aufgebaut und angewendet?

Auf der Annahme, dass mentale Modelle auf Grundlage einer Systembeschreibung entstehen können, bauten alle drei Versuche auf. Diese grundlegende Annahme basierte auf den Ergebnissen empirischer Studien zu mentalen Modellen manipuliert über schriftliche Informationen (zum Beispiel Beggiato & Krems, 2013). In den oben aufgeführten Studien hat die Manipulation der mentalen Modelle bei zwei von drei Studien wie erwartet funktioniert. Ein mentales Modell konnte somit auf Grundlage einer Systembeschreibung aufgebaut werden.

In Studie 1 war die Manipulation der mentalen Modelle gelungen. Probanden mit der korrekten Vorabinformation in Form einer Systembeschreibung, hatten die meisten korrekten Antworten vor dem Erleben hochautomatisierter Fahrfunktionen. Probanden mit der inkorrekten Systembeschreibung hatten hingegen die geringste Anzahl korrekter Antworten.

Verwunderlich war hingegen, dass es bei den Daten, erhoben mit subjektiven Messmethoden in Studie 2 Experiment 1 zu keiner erfolgreichen Manipulation von mentalen Modellen kam. Die mentalen Modelle der Probanden unterschieden sich in den Daten aus den subjektiven Methoden trotz unterschiedlicher Systembeschreibungen zu Beginn nicht. Zwar haben Probanden mit dem korrekten mentalen Modell im Mittel geringfügig mehr korrekte Antworten, jedoch wurde dieser Unterschied in den Analysen nicht signifikant. Die Daten, die mit objektiven Messmethoden erhoben wurden, wiesen hingegen auf eine Unterscheidung zwischen den mentalen Modellen auch

zu Beginn der Messung hin. Ein Grund für die fehlende Manipulation ist vermutlich die Systembeschreibung selbst oder die Messmethode.

Da die gelungene Manipulation in den Daten der objektiven Messmethoden aber nicht in den Daten der subjektiven Messmethoden gezeigt werden konnte, besteht die Möglichkeit einer unzureichenden subjektiven Messmethode in Studie 2 Experiment 1.

Die erste Änderung in der Befragungsmethode, war zwischen Studie 1 und Studie 2 Experiment 1. Die Abfragemethode aus Studie 1 orientierte sich an der von Endsley etablierten SAGAT Methode (1988a). Aufgrund des anderen Versuchssettings in Studie 2 Experiment 1, war dieses Setting nicht mehr möglich. Eine Befragung bei Studie 2 Experiment 1 war lediglich vor und nach der Fahrt möglich. Auf diese Weise sollte eine Unterbrechung des Versuchs vermieden und die ökologische Validität erhöht werden. Dass die neue Prä-Post Messung jedoch nicht alleine für die unzureichende Manipulation zu Beginn von Studie 2 Experiment 1 sein kann, zeigen zum einen die Ergebnisse aus den objektiven Messmethoden desselben Experiments, wie auch die Ergebnisse aus den subjektiven und objektiven Messmethoden des Folgeexperiments. Die Daten der objektiven Methoden aus Studie 2 Experiment 1 wiesen Unterschiede zwischen den mentalen Modellen zum ersten Messzeitpunkt auf.

Ein weiterer Grund für die nicht gemessene Manipulation mentaler Modelle zu Beginn der Studie 2 Experiment 1 kann die unzureichende Beschreibung der Systemfunktionen und Grenzen der Vorabinformation aus Studie 2 Experiment 1 sein.

Die Probanden in Studie 1 hatten nicht wie in Studie 2 Experiment 1 das konkrete Fahrerleben in einem Fahrsimulator. Dementsprechend hatte die Vorabinformation in Studie 1 keine vollständige Beschreibung, wie das hochautomatisierte System

eingeschaltet wird. Ein weiterer Zusatz in der Vorabbeschreibung von Studie 1 im Vergleich zu Studie 2 Experiment 1 war die Beschreibung der Zweitaufgabe. Die Systembeschreibung war in der Vorabinformation von Studie 2 Experiment 1 umfangreicher. Folglich war das mentale Modell der Probanden aus Studie 1 weniger umfangreich und genau, als bei Probanden aus Studie 2 Experiment 1. Um den Probanden für die in Studie 2 Experiment 1 erlebten hochautomatisierten Situationen ausreichend Informationen zu geben, musste neben dieser Anpassung weitere vorgenommen werden. Die Konsequenz war eine vollkommen überarbeitete Vorabinformation von Studie 2 Experiment 1 im Vergleich zu Studie 1.

Die Zunahme an Informationen innerhalb der Vorabbeschreibung von Studie 1 zu Studie 2 Experiment 1, kann dazu geführt haben, dass die Probanden zu viele zusätzliche Informationen speichern mussten, die sie nicht zwingen mit dem hochautomatisierten Fahren in Verbindung brachten (zum Beispiel die zusätzliche Nebenaufgabe oder das Einschalten der DISTRONIC als Grundlage zur Aktivierung des hochautomatisierten Systems). Dies führte zu einer hohen Belastung des Arbeitsgedächtnisses, was wiederum zu einem schlechten Informationsabruf und somit einem fehlgeschlagenen Manipulationscheck führte.

Die fehlende Beschreibung, wie ein hochautomatisiertes System einzuschalten ist liefert einen weiteren Erklärungsansatz für die unterschiedlichen Ergebnisse bezüglich des Aufbaus mentaler Modelle. Wie aus den Ergebnissen der Daten, die mit subjektiven Methoden erhoben wurden, zu entnehmen, ist die Unterscheidung der Leistung von Probanden mit verschiedenen mentalen Modellen im Rahmen der Übernahmebeschreibung weniger deutlich. Aufgrund der in Studie 2 Experiment 1 in der Vorabbeschreibung fehlenden Unterscheidung zwischen dem Einschalt- und Übernahmeprozess, konnte es zu der beeinträchtigten Leistung unabhängig vom mentalen Modell

kommen. Die verschiedenen mentalen Modelle waren für den anfänglichen Manipulationscheck nicht differenziert genug aufgrund der gemischten Beschreibung von Einschalt- und Übernahmephase. Möglicherweise kam es bei dem Entwurf der Vorinformationen in Studie 2 Experiment 1, zu einem Bruch zwischen den verschiedenen mentalen Modellen des Versuchsleiters und der Probanden (vergleiche Norman, 1983). Dies lässt darauf schließen, dass die grundlegenden Eigenschaften von Modellen im Abgleich der verschiedenen mentalen Modelle in Studie 2 Experiment 1 nicht ausreichend berücksichtigt worden sind. Da sich die Vorinformation von Studie 2 Experiment 1 zu Experiment 2 erneut verändert hat, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Art und Weise, wie die Vorinformation inhaltlich aufgebaut war, zu der fehlenden Unterscheidung zwischen den mentalen Modellen führte. Ein weiterer Hinweis für die unzureichend genaue Darstellung des mentalen Modells des Entwicklers (Erläuterungen siehe Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) in Form von der Vorinformation in Studie 2 Experiment 1, war die aus dem Versuch abgeleitete Arbeitshypothese. Diese hatte zum Ziel in Studie 2 Experiment 2 genaueren Fokus auf die Einschaltphase zu legen, da sie in Studie 2 Experiment 1 vernachlässigt worden war. Da sie jedoch den ersten Berührungspunkt zwischen dem mentalen Modell des Probanden und der realen Situation darstellt, folglich eine erste Aktualisierungssituation darstellt, sollte ihr durchaus eine grundlegende Bedeutung in der Erforschung des Aufbaus und der Aktualisierung mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren zugemessen werden, was in Studie 2 Experiment 2 berücksichtigt wurde.

In Studie 2 Experiment 2 konnte die gelungene Manipulation verschiedener mentaler Modelle sowohl in den Daten aus den subjektiven, als auch in den objektiven Messmethoden nachgewiesen werden. In der Studie 2 Experiment 2 wurde in Form eines Manipulationschecks für die Einschaltbedingung ein Unterschied zwischen den



korrekten und den inkorrekten mentalen Modellen festgestellt. Zwar konnte dieser Unterschied in der Übernahmephase nicht gefunden werden, jedoch war dies auch nicht erwartet worden. Grund hierfür war, dass die Einschaltphase immer vor der Übernahmephase kam und eine Manipulation des mentalen Modells nach dem Lesen somit für die Bedingung der Übernahmephase immer durch das Erleben der Einschaltphase konfundiert ist. Folglich wäre ein Effekt der Systembeschreibung in der Übernahmephase nicht mehr alleine auf die Systembeschreibung zurückzuführen und kann aus diesem Grund nicht mehr bei der Interpretation eines Manipulationschecks berücksichtigt werden.

In allen drei Experimenten konnte erfolgreich auf Basis von Systembeschreibungen ein mentales Modell aufgebaut werden. Dieses konnte in Studie 2 Experiment 1 aufgrund einer unzureichend detaillierten Systembeschreibung mit Hilfe subjektiver Messmethoden nicht aufgelöst werden. Die objektiven Messmethoden zeigten jedoch einen erfolgreichen Manipulationscheck.

## 5.2. Findet eine Anpassung des mentalen Modells auf Grundlage von (Fahr-) Erfahrung statt?

Lernerfahrung war in den Daten aus den subjektiven Messmethoden über alle Studien und Experimente hinweg, über die Zunahme an korrekten Antworten nach erfolgten Mismatch zwischen realer Situation und aufgebautem mentalem Modell gemessen worden. Dies wurde als eine Anpassung des mentalen Modells angesehen. In den Experimenten der Studie 2 kamen zusätzlich die Reaktionszeiten hinzu.

Über alle Experimente hinweg, war eine Veränderung der mentalen Modelle auf Grundlage der Fahrerfahrung erkennbar. Jedoch gab es bezogen auf die Lernerfahrung in Studie 1 und Studie 2 Experiment 1 nicht die, den Erwartungen entsprechenden Ergebnisse.

In Studie 1 kam es zu der erwarteten Lernerfahrung und folglich der Aktualisierung des mentalen Modells der Probanden mit dem anfänglich nicht zur erlebten Situation passenden mentalen Modell (inkorrektes mentales Modell). Überraschend war jedoch die Leistungsabnahme der Probanden mit korrektem und unvollständigem mentalen Modell. Eine mögliche Erklärung für diese Abnahme liegt womöglich in der Stabilität der mentalen Modelle (siehe Eigenschaften mentale Modelle Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, zum Beispiel Stachowiak, 1973). Die Eigenschaft mentaler Modelle, eine gewisse Instabilität aufzuweisen, ist zwar förderlich für die Aktualisierung und Anpassung verschiedener Modelle an die Situationen und Umgebungen, jedoch kann diese Eigenschaft auch dafür sorgen, dass das mentale Modell, wenn es nicht genauer elaboriert wird, sich im Gedächtnis anders manifestiert, als ein Modell, welches stets aktualisiert und häufiger elaboriert wird. Endsley (1995b) hat diesen Punkt in ihrem Modell berücksichtigt, indem sie die Faktoren „Erfahrung“ und „Training“ im Modell integrierte. Diese Faktoren wirken nach ihrem Modell auf die Informationsverarbeitungsprozesse ein, diese wiederum haben Einfluss auf die SA, die im 3. Level die Projektion zukünftiger Situationsentwicklungen vorsieht.

In Studie 1 wurde versucht, diese Faktoren im Versuchsaufbau zu berücksichtigen. Ein weiteres aufklärendes Video, das den Probanden zeigte, wie das System reagiert, war aber möglicherweise aufgrund der fehlenden eigenständigen Handlung

nicht ausreichend. Nach Endsley (1995b) ist die Simulation von zukünftigen Situationen (Level 3 SA) sehr aufwendig und baut auf den beiden vorherigen SA Leveln auf. Klein (1989) fand heraus, dass nicht alle die gleiche Fähigkeit zur Simulation zukünftiger Situationen haben. Es gibt Studien, die auf Schwierigkeiten bezüglich der Simulationsfähigkeit hinweisen (zum Beispiel Simmel & Shelton, 1987). Andere Studien zeigen jedoch deutlich den Mehrwert dieser Simulationsfähigkeit (zum Beispiel Amalberti & Deblon, 1992). Somit kann die Fähigkeit zur Simulation alleine kein ausschlaggebender Punkt für den Leistungseinbruch sein, jedoch ein erster Hinweis auf eine mögliche Erklärung.

Eine geringe Aufgabenanforderung aufgrund fehlender Aktualisierungsaufgaben bei den Probanden mit korrektem und unvollständigem Modell, kann ebenfalls zu dem Leistungsabfall bei den Projektionsfragen geführt haben. DeWaard (1996) beschreibt einen Verlauf, bei dem die Leistung abhängig vom Workload ist. Bei einer geringen Aufgabenanforderung ist die Beanspruchung gering, was zu einem Abfall an Aufmerksamkeit und einer Abnahme an kortikaler Erregung führen kann. Dies wiederum steht in Verbindung mit einer verringerten Aufgabenerfüllung (siehe Modell Abbildung 3 Region D). Da die Probanden mit dem korrekten mentalen Modell keine oder nur eine geringe Aktualisierung des eigenen mentalen Modells benötigen, ist ihre Belastung eher gering. Die Aufgabe wird weniger gut erfüllt aufgrund von kognitiver Unterforderung. Diese Unterforderung nimmt mit Dauer des Versuchs zu, da der Abfall der Aufmerksamkeit und der kortikalen Erregung erst mit der Zeit einsetzt. Neben der Grundlage für von DeWaard (1996) zu dieser Diskussion, können ebenfalls Studien der zum Thema Schläfrigkeit herangezogen werden. Diese Studien verzeichnen ebenfalls einen Leistungseinbruch in Abhängigkeit der Zeit (zum Beispiel Warm et al., 2008).

Die in Studie 2 Experiment 1 ausgewerteten Daten der subjektiven Messmethoden ergaben ebenfalls unerwartete Ergebnisse. Die Probanden mit dem korrekten mentalen Modell hatten am Ende der Fahrt mehr gelernt, als die Probanden mit dem inkorrekten mentalen Modell. Dies war erstaunlich, da auf Grundlage von Beggiato and Krems (2013) und Studie 1 erwartet wurde, dass die Probanden mit dem inkorrekten mentalen Modell den größten Lernzuwachs über die Zeit haben werden. Die Probanden mit dem korrekten mentalen Modell sollten bereits zu Beginn ein korrektes Modell über das Systemverhalten haben, weshalb ihre Lernerwartung nicht zu sehr steigen sollte im Vergleich zu ihrem anfänglichen mentalen Modell.

Eine mögliche Erklärung, warum die Probanden mit dem korrekten mentalen Modell einen größeren Wissenszuwachs hatten, als die Probanden mit dem inkorrekten mentalen Modell ist, dass die Systembeschreibung nicht ausreichte um für den Versuch ein vollständig korrektes mentales Modell aufzubauen. Da in Studie 2 Experiment 1 die Vorabinformation eine Vielzahl zusätzlicher Informationen aufwies im Vergleich zu der von Studie 1, kann dies unter Umständen zu einem erschwerten Abruf der Informationen geführt haben.

Ebenfalls möglich ist die Annahme, dass das Messen des Manipulationschecks mit Hilfe subjektiver Messmethoden nicht möglich war. Diese Argumentation ist unter Betrachtung der Daten aus den objektiven Methoden und dem dort gezeigten Lerneffekt weiterhin nachvollziehbar. Anhand der objektiven Methoden mit der visuellen Zweitaufgabe PDT, konnte eine Annäherung der Reaktionszeiten beider Bedingungen gezeigt werden. Zudem war die Lernentwicklung über die Zeit stärker ausgeprägt bei den Probanden mit dem inkorrekten mentalen Modell als bei denen mit dem korrekten mentalen Modell.

Dem Modell (siehe Abbildung 6) folgend, müssten die Reaktionszeiten im Allgemeinen über die Zeit betrachtet kürzer werden. Die Probanden können aufgrund

ihres aktualisierten mentalen Modells mehr freie Ressourcen nutzen, als dies der Fall ist, wenn sie ihr falsches Modell anpassen müssen. Allerdings wurden die Probanden im Versuch nicht schneller in ihrer Reaktion, sondern sie wurden langsamer. Dies mag im ersten Augenblick merkwürdig sein und gegen die Annahme sprechen, jedoch könnte dieses Ergebnis auch nur zeigen, dass die Aktualisierung des mentalen Modells bis zum Ende des Experiments andauert hat und zwei Messzeitpunkte zu wenige waren um die vollständige Entwicklung der Modelle darstellen zu können. Die Aktualisierung des mentalen Modells ist mit einer erhöhten Beanspruchung verbunden, da die Aktualisierung eines mentalen Modells eine zusätzliche Belastung bedeutet (vergleiche Abbildung 3). Damit einher gehen Einbußen bei der Wahrnehmung und Informationsverarbeitung (siehe Abbildung 6 und Wickens, 2002b; 2008). Nach Wickens (2002b; 2008) wird der Verarbeitungsphase (Enkodierung/Kognition, Zentrale Verarbeitung/Wahrnehmung und Reaktion) eine Ressource zugeordnet. Diese Ressource wird neben der Fahraufgabe zusätzlichen von der Zweitaufgabe genutzt. Zudem ist die Fahraufgabe primär über die Verarbeitungsphase dargestellt. Fahrinformationen müssen wahrgenommen, enkodiert und verarbeitet werden, bevor eine Reaktion im Sinne eines Handlungsziels abgeleitet wird. All diese Aufgaben finden auf der Dimension der Verarbeitungsphase statt. Eine erhöhte Belastung aufgrund eines inkorrekten mentalen Modells auf vor allem dieser Dimension, könnte als Erklärung für die Leistungseinbußen und den damit verbundenen größeren Reaktionszeiten sprechen. Die Verarbeitung der Stimuli der Zweitaufgabe sorgte für eine erhöhte Belastung, was zu einer verlangsamten Reaktionszeit führte. Eine weitere Belastung könnte auf der Dimension der wahrgenommenen Modalität vorliegen. Sowohl die Fahraufgabe, als auch die Zweitaufgabe werden auf dem visuellen Sinneskanal wahrgenommen. Dass diese Belastung jedoch keinen negativen Einfluss auf die Messung hat, zeigen die Reaktionszeiten der TDRT zum Zeitpunkt der Übernahmen (TOR Phase).

Selbst mit einer Zweitaufgabe, die eine andere Wahrnehmungsmodalität nutzt, sind die Reaktionszeiten zum zweiten Messzeitpunkt erhöht. Folglich ist dies kein Ergebnis, das auf die Wahrnehmungsmodalität zurückgeführt werden kann. Dennoch ist der Lernprozess in Form einer Modellanpassung, bei der TDRT ein anderer. Beide Bedingungen zeigen eine Veränderung gegenüber der ersten Messung. Jedoch ist diese bei den Probanden mit dem mentalen Modell ähnlich dem der Probanden mit dem inkorrekten mentalen Modell.

### 5.3. Kann Systemverstehen mit einer objektiven Methode gemessen werden? Welche objektive Methode eignet sich zur Messung von Systemverstehen?

Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass Systemverstehen objektiv gemessen werden kann. Es bleibt jedoch zu beachten, dass die Validität von der gewählten Messmethode und dem geeigneten Versuchsmaterial abhängt. Die Ergebnisse der Arbeit darauf hin, weiterhin objektive Messmethoden zur Klärung des Einflusses mentaler Modelle zu den bestehenden subjektiven Methoden hinzuzuziehen. So war die Datenerhebung in Studie 1, die hauptsächlich auf Daten aus subjektiven Methoden basiert sehr aufwendig und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse über verschiedene Automationsgrade hinweg, ist nicht möglich. Die Vergleichbarkeit ist vor allem aufgrund des vom Automationsgrad abhängigen Versuchsmaterial (Fragebogen) nicht gegeben. Das Wissen kann hier immer nur direkt über konkrete Fragen zu konkreten Inhalten mentaler Modelle abgefragt werden. Diese Konkretisierung hilft zum einen, ein trennscharfes Bild verschiedener mentaler Modelle zu erzeugen, zum anderen schränkt genau diese Konkretisierung die Übertragbarkeit der Ergebnisse ein. Eine Befragung zu einem mentalen Modell eines assistierten Assistenzsystems kann

nicht für die Befragung zu einem mentalen Modell eines hochautomatisierten Fahrzeuges genutzt werden da die konkreten Inhalte beider mentalen Modelle verschieden sind.

Objektive Messungen, die indirekt den Einfluss mentaler Modelle messen, erlauben einen Vergleich über Automationslevel hinweg, da sie nicht direkt die konkreten Inhalte der jeweiligen mentalen Modelle messen.

Experiment 1 in Studie 2 zeigt anhand zweier objektiver Messmethoden, dass auch die objektiven Messmethoden ihre Grenzen und Voraussetzungen haben. Das Ergebnis aus Studie 2 Experiment 1 zeigt die Unterschiede zwischen einer taktilen Zweitaufgabe und einer visuellen Zweitaufgabe im Rahmen einer hochautomatisierten Fahrt.

Dass es zu Unterschieden zwischen den beiden Messmethoden kommen kann, war aufgrund der unterschiedlichen Kapazitätsnutzung der visuellen Ressource in beiden Zweitaufgaben auf Grundlage des Multiplen Ressourcenmodells von Wickens (2002b; 2008) durchaus denkbar. Die Annahme, Ressourcen seien begrenzt, führt zu der Annahme, dass die Diskrepanz zwischen zwei Aufgaben höher ist, wenn sie die gleiche Ressource nutzen (Wickens, 2002b; 2008). Diese erhöhte Diskrepanz führt zu einer erhöhten Belastung während der Ausführung der auf dieser Ressource aufbauenden Aufgaben. Diese Belastung führt wiederum zu einer geringeren Leistung (vergleiche Abbildung 3). Die Fahrt mit der PDT bedeutete eine erhöhte Kapazitätsauslastung auf der visuellen Ressource, da sowohl die Fahraufgabe, als auch die Zweitaufgabe die gleiche Ressource nutzen. Hingegen war bei der Fahrt mit der TDRT die visuelle Ressource lediglich für die Fahraufgabe belastet worden. Dennoch wurde im Rahmen dieses Experiments, keine konkrete Unterscheidung der Ergebnisse in die Hypothesen aufgenommen. Der Grund war, dass der Schwerpunkt der experimentel-

len Untersuchung auf dem Aufbau und der Aktualisierung von mentalen Modellen liegen sollte und weniger auf dem Vergleich zweier Messmethoden. Folglich wurden lediglich aus Sicherheitsgründen zwei objektive Messmethoden genutzt um gegen eine Überladung der visuellen Ressource aufgrund nur einer visuellen, objektiven Messmethode abgesichert zu sein. Dementsprechend war eine Unterscheidung der Daten aus beiden Messmethoden nicht explizit erwartet worden, jedoch sind verschiedene Ergebnisse beider Zweitaufgaben nicht verwunderlich. Verwunderlich hingegen ist die Art und Weise der Unterscheidung beider Ergebnisse.

Die PDT in Studie 2 Experiment 1 war im Stande die erwartete Interaktion zwischen den Probanden mit den verschiedenen mentalen Modellen zu zeigen. Entgegen den Annahmen, reagierten Probanden mit dem inkorrekten mentalen Modell schneller auf die visuellen Reize der Zweitaufgabe, als die Probanden mit dem korrekten mentalen Modell.

Die TDRT in Studie 2 Experiment 1 war im Stande die erwartete Reaktionszeit in Abhängigkeit der mentalen Modelle zu zeigen. Probanden mit einem inkorrekten mentalen Modell reagierten langsamer auf die Zweitaufgabe, als Probanden mit einem korrekten mentalen Modell. Die Annahme, dass Probanden mit einem inkorrekten mentalen Modell eine steilere Lernerfahrung aufweisen, als die Probanden mit dem korrekten mentalen Modell, konnte mit Hilfe der TDRT nicht gezeigt werden.

Probanden mit einem korrekten mentalen Modell sollten jedoch beim Abgleich der Fahrsituation mehrere Übereinstimmungen zwischen mentalen Modell und der erlebten Situation haben, als Probanden mit inkorrektem mentalen Modell. Probanden mit einem inkorrekten mentalen Modell haben somit neben der Fahraufgabe und der Zweitaufgabe eine weitere Aufgabe, und zwar die Aktualisierung des mentalen Modells (vergleiche Abbildung 6). Diese neue Aufgabe führt zu einem erhöhten Anstieg der genutzten Kapazität pro Ressource. Zudem sorgt eine erhöhte Aufgabenschwere zu



einem erhöhten Workload (DeWaard, 1996). Diese erhöhte Beanspruchung zwecks Kapazitätsausnutzung und Workloadanstieg, sollte in den Reaktionszeiten der Probanden mit inkorrektem mentalem Modell zu sehen sein (vergleiche Abbildung 6). Wenn die Aufgabe der Probanden mit dem korrektem mentalem Modell einfacher und weniger umfangreich ist, als die der Probanden mit dem inkorrektem mentalem Modell, warum sollten dann die Probanden mit dem korrektem mentalem Modell so viel schlechter sein als die Probanden mit dem inkorrektem mentalem Modell?

Wenn Probanden ein mentales Modell besitzen, das zu der erlebten Situation passt (korrektes mentales Modell), haben sie mehr Kapazität für die Zweitaufgabe übrig, als Probanden, die ein mentales Modell haben, welches nicht zur Situation passt und das sie während der Fahraufgabe und der Bearbeitung der Zweitaufgabe aktualisieren müssen.

Ein Erklärungsversuch wurde in der Diskussion des Experimentes bereits gestartet und in der Einleitung zu diesem Diskussionspunkt bereits erneut angeführt. Möglich wäre, dass die TDRT nicht sensibel genug ist, einen Lerneffekt zu messen. Die TDRT ist eine taktile Zweitaufgabe und nutzt folglich andere Ressourcen als die PDT (vergleiche zum Beispiel Wickens, 2002b; 2008). Die PDT wiederum nutzt die gleiche Ressource, wie auch die Fahraufgabe. Da die Probanden im Rahmen einer hochautomatisierten Fahrt keine manuellen Tätigkeiten wie Gas geben, Bremsen, Lenken durchführen mussten, war lediglich ihre visuelle Ressource belastet. Die taktile Aufgabe war somit unter Umständen zu leicht für die Probanden. Dies führte dazu, dass ausreichend Kapazität bei den Probanden vorhanden war, weshalb sie kein allgemeines Arousal verspürten oder benötigten, um die Zweitaufgabe neben der Fahraufgabe bearbeiten zu können. Sie hatten ausreichend Kapazitäten für das Fahren, das Aktualisieren des mentalen Modells und der Zweitaufgabe übrig, da die zu erledigenden Aufgaben auf verschiedenen Ressourcen Kapazitäten nutzten (Fahraufgabe:

primär visuell, Zweitaufgabe: taktil, Informationsverarbeitung: zum Beispiel kognitiv). Analog dieser Schlussfolgerungen, wären auch die nicht zu sehenden Lerneffekte zu erklären. Zwar lernten die Probanden über die Zeit des Versuchs hinweg, jedoch hatten beide Bedingungen (korrekte vs. inkorrekte mentale Modelle), ausreichend Kapazitäten, um die Aufgaben gleichmäßig zu verarbeiten. Probanden mit inkorrektem mentalem Modell konnten auf unvorhergesehene Situationen ohne große Beanspruchung reagieren, das mentale Modell aktualisieren und die Nebenaufgabe ausführen. Somit unterschied sich die Auslastung der Ressourcen nicht von der Bedingung mit korrekten mentalen Modellen. Dementsprechend war keine Annäherung der Reaktionszeiten zu erkennen.

Folglich weist das Experiment 1 der Studie 2 daraufhin, dass eine objektive Messung mentaler Modelle über die Ableitung der Leistung in einer Zweitaufgabe auf Grundlage aufmerksamkeits-theoretischer Grundlagen möglich ist. Die Ergebnisse des Experiments weisen aber auch sehr deutlich auf die kritische Überprüfung einer relevanten Messmethode hin. Da die hochautomatisierte Fahraufgabe sich von der manuellen oder niedriger automatisierten Fahraufgabe unterscheidet, ist die Wahl der Zweitaufgabe umso wichtiger.

Abgeleitet aus dem Experiment 1 wäre eine Empfehlung einer visuellen Zweitaufgabe auszusprechen. Diese Empfehlung basiert auf der oben geführten Diskussion und dem Resümee, dass die Auslastung einer gemeinsamen Ressource (Fahr- und Zweitaufgabe), eine höhere Belastung und entsprechend, eine sensiblere Messung erlaubt. Diese Empfehlung ist jedoch lediglich für Versuche die das gleiche Design verwenden. Studie 2 sah keine zusätzliche Nebentätigkeit vor, mit der sich die Probanden während der hochautomatisierten Fahrt beschäftigen konnten (zum Beispiel Zeitung lesen). Dementsprechend haben die meisten Probanden die Fahrumgebung oder das Fahrzeug beobachtet. Dies ist wiederum primär eine visuelle Tätigkeit. Vorstellbar

wäre jedoch, dass die TDRT eine sehr hilfreiche Messmethode ist, wenn die Probanden neben der Fahr- und der Zweitaufgabe, eine weitere Nebentätigkeit ausführen die ebenfalls die taktile Ressource belegen würde.

In Ableitung zu dieser Argumentation, dass die TDRT eine zu leichte Zweitaufgabe im Rahmen hochautomatisierter Fahrsituationen darstellt, könnte auch vermutet werden, dass Probanden die PDT als zu schwierige Aufgabe wahrnahmen. Diese erhöhte Schwierigkeit könnte bei den Probanden dazu geführt haben, dass die aus der Zweitaufgabe PDT, die Erstaufgabe gemacht haben, nachdem sie merkten, dass Ihre Leistung in der PDT schlecht ist. Somit wäre der Lerneffekt nicht auf die mentalen Modelle, sondern auf die Schwierigkeit der Aufgabe und die Gewöhnung an die Zweitaufgabe zurückzuführen. Die Ergebnisse des zweiten Experiments der Studie 2 sprechen gegen diese Argumentation und unterstützen vielmehr die Annahme, dass die PDT als objektives Messinstrument, Aussagen über den Aufbau und die Aktualisierung mentaler Modelle erlaubt. Wie in den Ergebnissen zur Studie 2 Experiment 2 zu erkennen, ist die Sensitivität der PDT hoch. Es können Unterschiede zum ersten Messzeitpunkt gezeigt werden, die den anfänglichen Hypothesen entsprechen. Die zu den folgenden Messzeitpunkt stattfindende Umkehrung des Effektes, entspricht den Ergebnissen aus dem ersten Experiment der Studie 2. Dementsprechend unterstützen die Ergebnisse der zweiten Studie die Empfehlung, objektive Messmethoden zu nutzen, jedoch deren Anwendung kritisch zu überprüfen und dem Versuchsdesign anzupassen. Diese Empfehlung ist bei hochautomatisierten Fahrzeugen jedoch nicht vollumfänglich hilfreich. Wie in Studie 2 Experiment 2 zu erkennen, werden zwar die Hypothesen zum Zeitpunkt der ersten Messung erfüllt, jedoch nur im Rahmen der Einschaltphase. Wenn die Probanden das erste Mal eine Übernahmephase erleben, zeigt sich dieses Muster nicht. Grund hierfür ist vermutlich der Gleiche, wie bereits zu Ex-

periment 1 oder den weiteren Messzeitpunkten bei der Einschaltbedingung. Die Probanden versuchen bereits nach einer ersten Situation, in der ihr mentales Modell nicht mit der erlebten Situation übereinpasst, dieses über eine erhöhte Aufmerksamkeit auszubessern.

Demzufolge ist der Hinweis, einer kritischen Prüfung der objektiven Messmethode durchaus angebracht, jedoch ist dies keine Lösung, um Unterschiede mentaler Modelle für die Übernahmephase eines hochautomatisierten Systems zu messen. Um dies zu ermöglichen, benötigt eine Folgestudie neben der objektiven Messmethode, weitere designtechnische Änderungen im Vergleich zu diesen Studien.

Fazit für die Forschungsfrage ist, dass das messen von mentalen Modellen auf Grundlage von Reaktionszeiten über Zweitaufgaben möglich ist. Dennoch sollte die Passung der objektiven Messmethode auf Grundlage von aufmerksamkeitstheoretischen Theorien kritisch geprüft und dem Versuchsdesign angepasst werden.

#### 5.4. Sind das Vertrauen und die Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen beeinflusst durch mentale Modelle und deren Änderungen über die Zeit?

Das Vertrauen in und die Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen wurde in den Studien über eine Datengrundlage aus subjektiven Methoden (Fragebögen) analysiert. Es wurde keine Anpassung der Fragen zu Vertrauen und Akzeptanz über alle drei Studien vorgenommen. Dennoch ließ sich eine Veränderung in den Ergebnissen abhängig vom Studiendesign aufzeigen.

In Studie 1 hatten die mentalen Modelle keinen Einfluss auf das Vertrauen in und die Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen. In Studie 2 Experiment 1 wuchs das Vertrauen in das hochautomatisierte System signifikant im Verlauf des Experiments. Die mentalen Modelle hatten erneut keinen Einfluss auf die Akzeptanz von

hochautomatisierten Fahrzeugen. Auch in Studie 2 Experiment 2, wuchs das Vertrauen der Probanden in das hochautomatisierte System (Haupteffekt Zeit). In Studie 2 Experiment 2 konnte erstmals der Einfluss mentaler Modelle auf die Akzeptanz gezeigt werden.

In allen drei Versuchen wuchs das Vertrauen in hochautomatisierte Fahrzeuge über die Zeit des Experimentes hinweg. Dieser Effekt war in Studie 1 statistisch nicht signifikant, aber in deskriptiver Zusammenfassung war die Tendenz erkennbar (siehe Tabelle 2).

Probanden aus Studie 1 hatten kein konkretes Fahrerlebnis, weshalb ihr Vertrauen sich nicht signifikant über die Zeit veränderte. In den darauffolgenden Studien erlebten die Probanden innerhalb eines Simulator, näherungsweise reale Situationen mit dem hochautomatisierten System, weshalb der Aufbau von Vertrauen einfacher war. Das konkrete Erleben eines Fahrerlebnisses könnte folglich als Verstärkung dienen und die Vertrauensbewertung moderieren. Eine physische, kinästhetische Rückmeldung könnte den Probanden dabei helfen, Vertrauen aufzubauen. Eine weitere Studie, die dies am Beispiel eines hochautomatisierten Fahrzeuges im realen Straßenverkehr evaluiert, würde Aufschluss über die aus den Studien gezogene Schlussfolgerung geben.

Dass die Akzeptanz in allen drei Experimenten nicht von den mentalen Modellen beeinflusst ist, kann möglicherweise aufgrund eines fehlenden realen Fahrerlebnisses oder auf die Problematik einer fehlenden, einheitlichen Definition zurückzuführen sein. Zwar wurde ein häufig genutzter Fragebogen zum Erheben von Akzeptanz genutzt, jedoch ist dieser nicht primär auf das (hoch-)automatisierte Fahren ausgelegt, weshalb die Fragen möglicherweise zu global gehalten sind. Ein Ansatz, die Ergebnisse aus Studie 2 zu erklären, lässt sich auf Grundlage der größten Unterscheidung beider Experimente erörtern.

In Studie 2 Experiment 1 hatten die Probanden mit der inkorrekten Systembeschreibung einen höheren Zufriedenheitsscore, als die Probanden mit der korrekten Systembeschreibung. In der inkorrekten Systembeschreibung wurden in Summe weniger Systemgrenzen beschrieben, weshalb dieses Ergebnis vorerst nicht verwundert. Weniger Systemgrenzen bedeutet weniger komplizierte und komplexe Handlungserwartungen an den Fahrer. Dies kann zu einer erhöhten Akzeptanz im Vergleich zu einer Gruppe mit vielen, beschriebenen, komplizierten und komplexen Handlungsanweisungen.

Während der Zufriedenheitsscore in Studie 2 Experiment 2 in der Einschaltbedingung für die Gruppe mit korrekter Systembeschreibung größer war, war er in der Übernahmebedingung für die Gruppe mit der inkorrekten Systembeschreibung größer. Da diese Unterschiede jedoch nicht statistisch signifikant geworden sind, sollten weitere Studien zum Zusammenhang zwischen mentalen Modellen und der Akzeptanz von (hoch-) automatisierten Fahrzeugen stattfinden.

## 5.5. Resumee

Es konnte gezeigt werden, dass durch eine textliche Beschreibung eines hochautomatisierten Systems erste mentale Modelle für das hochautomatisierte Fahren aufgebaut werden können. Das Fahrerleben führte zu einer Aktualisierung des mentalen Modells. Unter Beachtung der Messmethode, können mentale Modelle mit Hilfe von indirekten, objektiven Methoden aus dem Bereich der Aufmerksamkeitsforschung im Rahmen vom hochautomatisierten Fahren untersucht werden. Die Studie 2 konnte zeigen, dass eine visuelle Zweitaufgabe im Rahmen dieser Untersuchungen, die sinnvollste Methode darstellte, Unterschiede aufgrund verschiedener mentaler Modelle zu untersuchen. Aus den Ergebnissen von Studie 2 ist jedoch auch zu folgern, dass bei

einem anderen Versuchssetting (zum Beispiel einer dritten Tätigkeit), auch eine andere Zweitaufgabe sinnvoll zur Unterscheidung zwischen mentalen Modellen sein kann. Dies ist vermutlich davon abhängig, welche Ressource von den Aufgaben genutzt wird. Ein Ausgleich zwischen Aufgabenanforderung und Nutzung der gleichen Ressource ohne Überlastungen zu erzeugen, ist Grundlage einer sensitiven und validen Messung mentaler Modelle. Ist diese Voraussetzung erfüllt, können durchaus Ableitungen zum Lernen aus dem Aufbau und dem Aktualisieren mentaler Modelle gezogen werden.

Allerdings konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht der Einfluss mentaler Modelle auf das Vertrauen in hochautomatisierte Systeme nachgewiesen werden. Ob dies an der Messhäufigkeit oder der fehlenden Erfahrung im Feld liegt, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden und sollte stattdessen in anderen Experimenten untersucht werden. Ein Anstieg des Vertrauens in hochautomatisierte Systeme über die Zeit hinweg, wird jedoch dabei helfen, die Fahrzeuge häufiger zu nutzen und so womöglich eine bessere und stabilere Wissensgrundlage zu schaffen.

Der Einfluss mentaler Modelle auf die Akzeptanz von hochautomatisierten Systemen ist lediglich im letzten Experiment nachweisbar gewesen. Aus diesem Grund wird empfohlen, weitere Studien durchzuführen, bevor ein Rückschluss auf den Zusammenhang von mentalen Modellen, Akzeptanz und Vertrauen geschlossen werden kann.

## 5.6. Applikation und Grenzen der Studien sowie Ansätze für weitere Studien

Die hier dargelegten Befunde leisten einen Beitrag zur Entwicklung hochautomatisierter Systeme, deren Einführung in naher Zukunft eine Veränderung der Fahrerrolle mit sich bringen wird. Infolgedessen werden neue Verhaltensmuster von den Fahrern

erwartet, die ein grundlegendes Verständnis des neuen Protagonisten „automatisiertes System“ im bisherigen Mensch-Maschine Modell fordert. Diese Arbeit konnte zeigen, dass mentale Modelle auf Grundlage von Vorabinformationen zu einem System aufgebaut werden können. Darüber hinaus ist die Entwicklung dieser mentalen Modelle sowohl über Daten aus den subjektiven, als auch aus den objektiven Methoden nachzuvollziehen. Lediglich die Einflussnahme mentaler Modelle auf das Vertrauen in und die Akzeptanz von hochautomatisierten Systemen ist trotz dreier Experimente, nur schwer zu interpretieren.

Diese Arbeit zeigte, wie wichtig die Betrachtung beider Messungen war, um den Gesamtzusammenhang herstellen zu können. Waren die Daten aus den subjektiven Methoden mal nicht ganz deutlich, halfen die Daten aus den objektiven Methoden dabei, eine Arbeitshypothese aufzustellen. In Folgestudien sollte somit neben den Daten aus den objektiven, immer auch die Daten aus den subjektive Methoden zur Bewertung mentaler Modelle in die Interpretation mit einfließen um ein differenzierteres Bild mentaler Modelle bei automatisierten Fahrfunktionen zu bekommen.

Die Wahl der objektiven Messmethode sollte in Folgestudien von der Haupt- und eventuell weiteren Nebenaufgaben abhängig gemacht werden, da andernfalls auch die Datenerhebung mit objektiven Methoden an ihre Interpretationsgrenze gerät (siehe Studie 2 Experiment 1 Abschnitt 4.3).

Wie aus Studie1 hervorging, kann die Aktualisierung eines mentalen Modells mit Hilfe eines Videos vorangetrieben werden. Somit können Tutorial für den zukünftigen Kunden hochautomatisierter Fahrzeuge, eine ökonomische Alternative zu Probefahrten darstellen (vergleiche Forster, Hergeth, Naujoks, Krems et al., 2019). Jedoch ist die Fähigkeit der Vorhersage zukünftiger Situationen (Projektion) auf Grundlage des so aufgebauten und aktualisierten mentalen Modells noch nicht ausreichend geklärt



und bedarf einer weiteren Untersuchung. Für weitere Untersuchungen, könnte die Versuchsdauer gekürzt werden. Auf diese Weise könnten Ermüdungseffekte, die in Studie 1 womöglich zum Leistungsabfall der korrekten und unvollständigen Bedingung geführt haben, vermieden werden. Zudem könnte versucht werden, die Probanden zu einer tieferen Elaboration der Systemfunktionen und –grenzen zu motivieren. Auf diese Weise könnte geprüft werden, ob tatsächlich Probanden, die das mentale Modell häufiger aktualisieren, auch eine bessere Projektionsfähigkeit haben.

Diese Ausarbeitung zeigt verschiedene Ansätze auf, die zeigen, dass mentale Modelle nicht nur unter Laborbedingungen (Studie 1) sondern auch unter simulierten Realsituationen (Studie 2 Experiment 1 und Experiment 2) einen Einfluss auf die mentalen Modelle beim hochautomatisierten Fahren haben. Somit wäre für weitere Studien eine Realfahrt interessant, um Ergebnisse zu replizieren und zu überprüfen. In einer Realfahrt bleibt auch zu prüfen, ob die PDT weiterhin die Methode der Wahl ist.

Zudem könnten unter realen Bedingungen die Ergebnisse für Vertrauen und Akzeptanz von hochautomatisierten Fahrzeugen eine erwartete Wendung nehmen. Es wäre möglich, dass der im Simulator gemessene kurze Anstieg der Beanspruchung unter realen Bedingungen im Verkehr nicht nur stärker ausfallen könnte, sondern auch länger anhalten könnte. Ersteres könnte zur Folge haben, dass die Bearbeitung der PDT unterbrochen wird, oder aber zu schwer wird. Die in der allgemeinen Diskussion diskutierte Möglichkeit, dass die TDRT zu leicht ist, könnte sich im Rahmen eines Realversuchs drehen. Falls die reale Situation für den Fahrer beanspruchender sein sollte, da die reale Umgebung zum Beispiel mehr Wahrnehmungsreize bietet, wäre durchaus möglich, dass die PDT zu schwer und die TDRT die neue Methode der Wahl werden würde.

Zweiteres könnte die Messung von Systemverstehen durch die Zunahme an Workload erschweren. Folge von einer verlängerten Beanspruchung wären vermutlich

schnellere Ermüdung und somit konfundierte Daten, die eine Interpretation der Ergebnisse erschweren.

Um dieser Frage noch vor 2020, und somit vor der Zulassung von Level 3 Systemen nachgehen zu können, würde sich als erster Schritt eine Replizierung der Studie 2 Experiment 2 mit der TDRT statt der PDT anbieten. Auf diese Weise könnte der Vermutung nachgegangen werden, dass die TDRT nicht sensitiv genug ist, um den Effekt, den die PDT in Studie 2 Experiment 2 aufdecken konnte, darzustellen. Zudem würde dieses Experiment erste Hinweise dafür liefern, ob andere Ergebnisse im Feld zu erwarten sind, als im Fahrsimulator.

Um die Datengrundlage innerhalb der subjektiven Messmethoden zu erweitern und auf diese Weise womöglich einheitlichere und sensitivere Ergebnisse zu bekommen, die einen Rückschluss auf mentale Modelle erlauben, empfiehlt es sich in Folgestudien erweiterte Messzeitpunkt einzuführen (zum Beispiel für mentale Modelle, Vertrauen und Akzeptanz). Somit könnte geprüft werden, ob eine geringere Anzahl an Messungen Grund für die ausbleibende Replizierung war.

Um das Ausmaß der Bedeutsamkeit des Einschaltprozesses, der in Studie 2 Experiment 2 gefunden wurde, auch unter Laborbedingungen zu bestätigen, wäre eine Replizierung der Studie 1 unter Berücksichtigung der Einschaltbedingung denkbar. Auf diese Weise könnten die in Studie 2 Experiment 2 gefundenen Effekte bezogen auf die Daten der objektiven Methoden, in Daten aus den subjektiven Methoden womöglich bestätigt werden.

Auch wenn in dieser Arbeit gezeigt werden konnte, dass ein Aufbau eines mentalen Modells auf Grundlage einer Systembeschreibung erfolgen kann, so haben andere empirische Untersuchungen bereits darauf hingewiesen, dass eine Langzeitbetrachtung des Aufbaus eines mentalen Modells zwingend erforderlich ist um eine Aus-

sage bezüglich der Nützlichkeit und Anwendbarkeit auf diese Weise aufgebauter mentaler Modelle zu treffen (zum Beispiel Richardson, 2019; Beggiato et al., 2015). Zudem ist in weiteren Studien zu prüfen, in wie weit die in Studie 1 genutzte unvollständige Beschreibung der Systemfunktionen im Stande ist, ein „Vergessen“ zu simulieren. Diese Simulation soll ermöglichen, dass auch Systemgrenzen, die nicht häufig auftauchen, somit zwar gelernt, jedoch nie oder nur sehr selten erlebt worden sind, untersucht werden können. Kann also dieses „Vergessen“ mit Hilfe unvollständiger Systembeschreibungen oder einer Langzeitstudie untersucht werden, könnte überprüft werden, ob und wie stark die bereits von Stachowiak (1973) angenommene Veränderungsresistenz mentaler Modelle sich auf das Fahren hochautomatisierter Fahrzeuge auswirkt. Denn schließlich wird von außen auf die Veränderung mentaler Modelle eingewirkt, was in solchen Fällen nicht zwingend mit der subjektiv plausiblen Sichtweise der Person übereinstimmt. (Seel, 1999; S. 159): „In fact, students’ preconceptions which are plausible from their subjective perspective may compete with instructionally presented conceptions that often lack perceptual evidence and seem to be inconsistent with the students’ everyday experiences. As a consequence, preconceptions are not easy to modify or to change if an individual is convinced of their plausibility.“

Alles in allem bietet die Ausarbeitung erste Hinweise zum Aufbau und der Aktualisierung mentaler Modelle beim hochautomatisierten Fahren, die Möglichkeit diese zu messen. Weitere Studien könnten die hier gefundenen Effekte bestätigen oder neue Möglichkeiten aufzeigen. Aufgrund der immer schneller werdenden Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen, und dem bisher eher geringen Verständnis über den Einfluss mentaler Modelle, sollten weitere Studien in diesem Bereich angestrebt werden.



## 6. Anhang

### A) Studie 1

Bei der Studie 1 wurden drei verschiedene Systembeschreibungen zu den Systemfunktionen herangezogen. Sie bildeten die Grundlage für die mentalen Modelle der Proband und schilderten mögliche Systemgrenzen vollständig und richtig, unvollständig oder falsch.

#### 1.A.1. Instruktionen

##### **Richtige Instruktion**

Liebe/r Versuchsteilnehmer/in,

Vielen Dank, dass Sie an unserer heutigen Untersuchung zum Thema „automatisierte Fahrfunktionen“ teilnehmen. In den folgenden 75 min werden wir Ihnen ein neuartiges Fahrassistenzsystem genauer vorstellen. Daraufhin bitten wir Sie, sich 5 Videosequenzen

aus Simulatorstudien zu Situationen mit dem Fahrassistenzsystem anzuschauen und die

Reaktionen des Systems, wie auch Ihre eigene einzuschätzen. Um die Einschätzung so

wenig subjektiv wie möglich zu gestalten, bitten wir Sie, sich in die Lage zu versetzen, Sie

würden das neue Fahrassistenzsystem selbst auf der Autobahn mit einer Geschwindigkeit

von ca. 100km/h fahren.

Hierbei gibt es jedoch einige Funktionen zu beachten:

- Das Fahrassistenzsystem benötigt immer ein vorausfahrendes Fahrzeug

- In Kurven kann es Probleme bei der Erkennung des vorausfahrenden Fahrzeuges geben
- Das Fahrassistenzsystem benötigt stets eine eindeutige Fahrbahnmarkierung
- Bei zu geringem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug (z.B. durch ein Fahrzeug, welches zwischen das eigene und dem vorausfahrenden Fahrzeug plötzlich einschert um die Ausfahrt nicht zu verpassen) fordert das Fahrassistenzsystem den Fahrer auf, das Fahrzeug zu übernehmen und deaktiviert sich
- Um das Fahrassistenzsystem aktivieren zu können, muss der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ca. 50m entsprechen
- Das Fahrassistenzsystem übernimmt für Sie die Regelung der Geschwindigkeit und des Abstandes zum vorausfahrenden Fahrer sowie die Lenkung
- Der Fahrer steht jeder Zeit in der Verantwortung und muss in der Lage sein, das System bei einer Übernahmeaufforderung zu übernehmen
- Bei schlechter Sicht durch z.B. Starkregen, Nebel, etc. kann es zu Problemen kommen, sodass sich das System nach einer Warnung deaktiviert.
- Solange ein Ausweichen innerhalb der eigenen Spur möglich ist, übernimmt das System den Ausweichprozess.

Wir wünschen Ihnen eine gute Fahrt!

**Unvollständig**

Liebe/r Versuchsteilnehmer/in,

Vielen Dank, dass Sie an unserer heutigen Untersuchung zum Thema „automatisierte Fahrfunktionen“ teilnehmen. In den folgenden 75 min werden wir Ihnen ein neuartiges Fahrassistenzsystem genauer vorstellen. Daraufhin bitten wir Sie, sich 5 Videosequenzen aus Simulatorstudien zu Situationen mit dem Fahrassistenzsystem anzuschauen und die Reaktionen des Systems, wie auch Ihre eigene einzuschätzen. Um die Einschätzung so wenig subjektiv wie möglich zu gestalten, bitten wir Sie, sich in die Lage zu versetzen, Sie würden das neue Fahrassistenzsystem selbst auf der Autobahn mit einer Geschwindigkeit von ca. 100km/h fahren.

Hierbei gibt es jedoch einige Funktionen zu beachten:

- In Kurven kann es Probleme bei der Erkennung des vorausfahrenden Fahrzeuges geben
- Bei zu geringem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug (zum Beispiel durch ein Fahrzeug, welches zwischen das eigene und dem vorausfahrenden Fahrzeug plötzlich einschert um die Ausfahrt nicht zu verpassen) fordert das Fahrassistenzsystem den Fahrer auf, das Fahrzeug zu übernehmen und deaktiviert sich
- Um das Fahrassistenzsystem aktivieren zu können, muss der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ca. 50m entsprechen
- Das Fahrassistenzsystem übernimmt für Sie die Regelung der Geschwindigkeit und des Abstandes zum vorausfahrenden Fahrzeugs sowie die Lenkung
- Bei schlechter Sicht durch zum Beispiel Starkregen, Nebel, etc. kann es zu Problemen kommen, sodass sich das System nach einer Warnung deaktiviert.

Wir wünschen Ihnen eine gute Fahrt!

**Falsch**

Liebe/r Versuchsteilnehmer/in,

Vielen Dank, dass Sie an unserer heutigen Untersuchung zum Thema „automatisierte Fahrfunktionen“ teilnehmen. In den folgenden 75 min werden wir Ihnen ein neuartiges Fahrassistenzsystem genauer vorstellen. Daraufhin bitten wir Sie, sich 5 Videosequenzen aus Simulatorstudien zu Situationen mit dem Fahrassistenzsystem anzuschauen und die Reaktionen des Systems, wie auch Ihre eigene einzuschätzen. Um die Einschätzung so wenig subjektiv wie möglich zu gestalten, bitten wir Sie, sich in die Lage zu versetzen, Sie würden das neue Fahrassistenzsystem selbst auf der Autobahn mit einer Geschwindigkeit von ca. 100km/h fahren.

Hierbei gibt es jedoch einige Funktionen zu beachten:

- Das Fahrassistenzsystem benötigt kein vorausfahrendes Fahrzeug
- In Kurven kann es Probleme bei der Erkennung des vorausfahrenden Fahrzeuges geben
- Das Fahrassistenzsystem benötigt keine Fahrbahnmarkierung
- Das System funktioniert selbst bei geringem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug.
- Um das Fahrassistenzsystem aktivieren zu können, muss der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ca. 50m entsprechen
- Das Fahrassistenzsystem übernimmt für Sie die Regelung der Geschwindigkeit und des Abstandes zum vorausfahrenden Fahrer sowie die Lenkung
- Der Fahrer steht in der Verantwortung und muss in der Lage sein, das System bei einer Übernahmeaufforderung zu übernehmen
- Das System regelt bei jeder Wetterlage.
- Solange ein Ausweichen innerhalb der eigenen Spur möglich ist, übernimmt das System den Ausweichprozess.



Wir wünschen Ihnen eine gute Fahrt!

## 1.A.2. Fragebögen

Das zuvor auf Grundlage der Vorabbeschreibung gebildete mentale Modelle wurde in den hier aufgeführten Fragen auf drei Arten abgefragt: Wahrnehmung, Verständnis und Projektion einer zukünftigen Situation, die sich aus den momentanen Gegebenheiten ergeben kann. Mehrfachantworten waren möglich und zu Beginn bekamen alle Probanden die Möglichkeit, sich auf die Fragenarten in einem Übungsblock vorzubereiten. Die Antwortmöglichkeiten variierten je nach Videoinhalt. Aus Vollständigkeitszwecken sind in dieser Form alle Fragen gemeinsam aufgelistet.

**Fragen – Wahrnehmung**

Was haben Sie gerade gesehen? Was ist passiert?

			C	Fi	D	nc	e
JA	NEIN	Item	on		e		
			Ganz			Überhaupt	
			sicher			nicht sicher	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich wurde von einem weißen LKW überholt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ein Reh wollte auf die Fahrbahn rennen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System piepte zweimal unerwartet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nichts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ein Fahrzeug fuhr sehr lange neben mir	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Es fing an zu regnen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ein Unfall auf der Gegenseite war zu sehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Menschen waren auf der Fahrbahn	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich wurde von einem schwarzen LKW überholt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Die Spurmarkierung fiel unerwartet weg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Es scherte ein Fahrzeug unerwartet vor mir ein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Mein vorausfahrendes Fahrzeug fuhr von der Autobahn ab	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Es fing an zu regnen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich wurde von einem roten Smart überholt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System piepte unerwartet und grundlos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Mein vorausfahrendes Fahrzeug bremste unerwartet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Die Sonne blendete, sodass die Spur nicht zu sehen war	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Mein vorausfahrendes Fahrzeug war grau-silber	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich habe ein Reh am Fahrbahnrand gesehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich habe auf der rechten Seite ein Ausfahrtschild nach Altdorf gesehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ein havariertes Fahrzeug stand ein Stück in meine Spur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ein Tier stand am Fahrbahnrand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ein Ausfahrtschild war am rechten Fahrbahnrand zu sehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ein dunkles Fahrzeug mit Warnblinker stand für mich gefahrlos auf dem Standstreifen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Mein vorausfahrendes Fahrzeug war ein weißer Kleintransporter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ein Heißluftballon war zu sehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ein weißes Fahrzeug ragte in meine Spur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ein dunkles Fahrzeug überholte mich kurz bevor das Video stoppte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ein dunkles Fahrzeug mit Warnblinker stand für mich gefahrlos auf dem Standstreifen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Mein vorausfahrendes Fahrzeug war ein weißer Kleintransporter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Fragen – Verständnis

Nun versetzen Sie sich bitte in die Lage, was passieren wird, wenn Sie an dieser Stelle weiterfahren würden. – Was wird in den nächsten 2 min systemseitig geschehen?

			Con	Fi	De	nc	e
Ja	Nein		Ganz si- cher				Über- haupt nicht si- cher
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nichts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System bleibt aktiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System wird deaktiviert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System ist ein passives Assistenzsystem und warnt ausschließlich den Fahrer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System warnt bevor es sich deaktiviert (visuell und auditiv)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System verliert lediglich eine Teilkomponente der Automation, funktioniert jedoch größtenteils wie zuvor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System weicht komfortabel und kaum spürbar dem Tier auf der Fahrbahn aus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System deaktiviert lediglich eine Teilkomponente der Automation, funktioniert jedoch größtenteils wie zuvor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System warnt den Fahrer, bleibt aber aktiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System bremst für mich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System verhindert einen Unfall	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System bleibt aktiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System warnt den Fahrer, bleibt aber aktiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System funktioniert nur noch teilweise. Es gibt nur noch Gas, Lenken musste ich selbstständig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System veranlasst eine Bremsung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System ist ein passives Assistenzsystem und warnt ausschließlich den Fahrer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrzeug wird automatisch langsamer werden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System bleibt aktiv und bremst	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System gibt Gas aber bleibt aktiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System übernimmt weiterhin die Lenkung und das Gas geben sowie das Bremsen für mich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System bleibt aktiv und reagiert durch Ausweichen in der Spur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System weicht über die Nachbarspur aus und wird dann inaktiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System bremst und kommt vor dem havarierten Fahrzeug zum Stehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Fragen – Projektion

Was wird Ihre Aufgabe in den nächsten 2 min sein?

			Con	Fi	De	nc	e
Ja	Nein		Ganz si- cher				Über- haupt nicht si- cher
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nichts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bremsen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Den Umverkehr beobachten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Lenken und Gas geben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ausweichen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das System übernimmt für mich alles Nötige	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gas geben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Die Hände an das Lenkrad nehmen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Übernahmebereit sein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Weiß nicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ausweichen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ausweichen und danach die Fahrzeugfüh- rung übernehmen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Warnblinker einschalten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Fragen – Demographie

Alter \_\_\_\_\_ Jahre

Geschlecht  weiblich  männlich

Seit wann besitzen Sie den PKW-Führerschein?

Seit dem Jahr \_\_\_\_\_.

Benötigen Sie zum Autofahren eine Brille oder Kontaktlinsen?

Ja  Nein

Liegt eine Farbfehlsichtigkeit vor?  Ja  Nein  Weiß  
nicht

Wie viele Kilometer fahren Sie durchschnittlich in einem Jahr mit dem PKW?

\_\_\_\_\_ km

Wie häufig fahren Sie die folgenden Strecken? [km]

Stadt: \_\_\_\_\_ % Landstraße: \_\_\_\_\_ % Autobahn: \_\_\_\_\_ %



Wie häufig nutzen Sie folgende Assistenzsysteme im PKW?

(Privater PKW oder Dienstfahrzeug)

	Nie	1x pro- biert	1x pro Monat	1x pro Woche	Mehr- mals pro Woche
TEMPOMAT/ Ge- schwindigkeitsregler	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISTRONIC/ Ab- standsregeltempo- mat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISTRONIC PLUS/ Abstandsregeltem- pomat mit Stop & Go	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISTRONIC PLUS Q/ Abstandsregel- tempomat mit Stop & Go und Lenkunter- stützung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Mit welchem Hersteller von Assistenzsystemen haben Sie diese Erfahrungen ge-  
macht?

Mercedes-Benz

Anderer, und zwar: \_\_\_\_\_

Nutzen Sie in Ihrem Fahrzeug oder Dienstwagen Fahrassistenzsysteme zur Unterstützung bei Geschwindigkeit beziehungsweise Abstand und Spurhaltung?

Nein

Ja, und zwar:

Geschwindigkeit (z.B. Tempomat)

Abstand (z.B. Distronic)

Spurhaltung

aktiv

passiv

**Fragen – Akzeptanz** (Van Der Laan et al., 1997)

Bitte beurteilen Sie Fahrerassistenzsysteme anhand der Informationen, die Sie bisher haben. Setzen Sie bitte jeweils ein Kreuz pro Zeile. Es geht hier um Ihre persönliche Meinung, d.h. es gibt keine richtigen oder falschen Antworten.

Nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nutzlos
Angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unangenehm
Schlecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gut
Nett	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nervig
Effizient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnötig
Ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Erfreulich
Hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wertlos
Nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wünschenswert

## Fragen – Vertrauen ( Jian et al., 2000)

	Stimme gar nicht zu 1						Stimme voll zu 7
Ich kann dem System vertrauen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System ist irreführend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Aktionen des Systems sind un- durchsichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich misstrauere den Aktionen, Absichten oder Konsequenzen des Systems.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin dem System überwachsam.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin mit dem System vertraut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Aktionen des Systems führen u nachteiligen oder schädlichen Konse- quenzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich traue mir zu das System zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System ist glaubwürdig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann mich auf das System verlas- sen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System bietet Sicherheit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System ist zuverlässig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Sonstiges Material

### Sensation Seeking Scale (Beauducel, Strobel, & Brocke, 2003)

Im Folgenden finden Sie immer zwei Aussagen unter den Spalten A und B nebeneinander stehen. Bitte lesen Sie erst beide Aussagen durch und entscheiden Sie dann, welche der beiden Aussagen am ehesten auf Sie zutrifft. Kreuzen Sie dazu das entsprechende Kästchen neben der Aussage an, die für Sie zutrifft. Es kann vorkommen, dass einmal keine der beiden Aussagen zutrifft oder beide Aussagen auf Sie zutreffen. Entscheiden Sie sich trotzdem immer für eine Antwortalternative!

Lesen Sie bitte immer erst beide Aussagen gründlich durch, bevor Sie Ihre Entscheidung treffen.

Aussage A	Antwort		Aussage B
Es gibt Filme, die ich mir auch ein zweites oder drittes Mal ansehen würde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Meistens langweilt es mich Filmwiederholungen zu sehen.
Ich wünsche mir oft, ich könnte Bergsteiger sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich kann Menschen, die ihren Hals beim Bergsteigen riskieren, nicht verstehen.
Es langweilt mich, ständig dieselben Gesichter zu sehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich mag die angenehme Vertrautheit der Menschen, mit denen ich täglich zu tun habe.
Ich mag keine Leute, die Dinge tun oder sagen, die andere schockieren oder verletzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wenn man bei jemandem fast alles vorhersagen kann, was er tun oder sagen wird, muss er ein

			langweiliger Mensch sein.
In der Regel begeistert es mich nicht, einen Film oder ein Spiel zu sehen, bei dem ich sagen kann, was als nächstes passieren wird.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Es macht mir nichts aus, einen Film oder ein Spiel zu sehen, bei dem ich vorhersagen kann, was als nächstes passieren wird.
Eine vernünftige Person vermeidet Aktivitäten, die gefährlich sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich mache manchmal gern Dinge, die ein bisschen angsteinflößend sind.
Ich schaue gern Erinnerungsfotos von Bekannten an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Erinnerungsfotos anderer Leute langweilen mich.
Ich würde gern lernen Wasserski zu laufen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich möchte nicht gern lernen, Wasserski zu laufen.
Ich würde gern versuchen zu surfen (Wellenreiten).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich würde nicht gern versuchen zu surfen.
Ich möchte nicht gern lernen, ein Flugzeug zu fliegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich würde gern lernen ein Flugzeug zu fliegen.
Tauchen ist nichts für mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich würde gern einmal Tiefseetauchen.
Ich würde gern einmal versuchen, Fallschirm zu springen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich würde nie aus einem Flugzeug springen, mit oder ohne Fallschirm.
Ich mag am liebsten Freunde, deren Verhalten ich manchmal schwer vorhersagen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich bevorzuge Freunde, die berechenbar sind.
Ich verbringe gern Zeit in der	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich werde sehr unruhig wenn ich

vertrauten Umgebung zuhause.			für eine bestimmte Zeit zuhause bleiben muss.
Ich würde gern einmal von einem hohen Sprungturm springen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich habe Angst, von hohen Sprungtürmen zu springen.
Überdrehte Menschen nerven mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich kann Langweiler nicht ausstehen.
Ich mag witzige und geistreiche Menschen, auch wenn sie manchmal auf Kosten anderer Witze machen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich mag Leute nicht, die ihren Spaß auf Kosten der Gefühle anderer haben.
Weite Entfernungen in einem Segelboot zu segeln, ist großer Leichtsin.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich würde gern mit einem kleinen, aber seetüchtigen Boot über eine weite Strecke segeln.
Ich habe mit dummen und langweiligen Menschen keine Geduld.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich finde an fast allen Personen etwas Interessantes.
Einen hohen Berg mit Skiern hinunter zu fahren, ist ein guter Weg, um auf Krücken zu enden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Es macht mir Spaß, eine schnelle Skiabfahrt von einem hohen Berg zu machen.

**Fragebogen zur Technikaffinität** (Karrer et al., 2009)

Im Folgenden sehen Sie einige Aussagen. Bitte geben Sie für jede der Aussagen an, wie gut sie auf Sie persönlich zutrifft. Wählen Sie dazu das Feld aus, das Ihrer Meinung am besten entspricht.

	Trifft voll zu	Trifft e- her zu	Teils/teils	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
Ich lieb es, neue elektronische Geräte zu besitzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektronische Geräte machen krank.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich gehe gern in den Fachhandel für elektronische Geräte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe bzw. hätte Verständnisprobleme beim Lesen von Elektronik- Computerzeitschriften.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektronische Geräte ermöglichen einen hohen Lebensstandard.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektronische Geräte führen zu geistiger Verarmung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektronische Geräte machen vieles umständlicher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich informiere mich über elektronische Geräte, auch wenn ich keine Kaufabsicht habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Elektronische Geräte machen unabhängig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es macht Spaß, ein elektronisches Gerät auszuprobieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektronische Geräte erleichtern mir den Alltag.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektronische Geräte erhöhen die Sicherheit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektronische Geräte verringern den persönlichen Kontakt zwischen den Menschen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kenne die meisten Funktionen der elektronischen Geräte, die ich besitze.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin begeistert, wenn ein neues elektronisches Gerät auf den Markt kommt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektronische Geräte verursachen Stress.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kenne mich im Bereich elektronischer Geräte aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es fällt mir leicht, die Bedienung eines elektronischen Geräts zu lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektronische Geräte helfen, an Informationen zu gelangen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## B) Studie 2

### 1.B.1. Instruktionen

#### **Richtig**

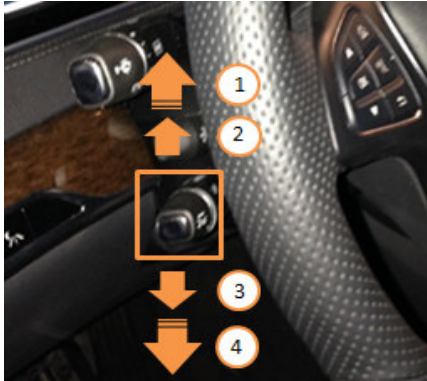
Liebe Versuchsteilnehmerin, lieber Versuchsteilnehmer,

Vielen Dank, dass Sie an unserer heutigen Untersuchung zum Thema „Bewertung neuer Fahrerassistenzsysteme“ teilnehmen. Sie werden heute in einer Mercedes-Benz S-Klasse Platz nehmen und mit dem Fahrerassistenzsystem Autobahn-Chauffeur fahren. Zum leichteren Einstieg beginnen Sie die Fahrt zunächst mit dem Fahrerassistenzsystem Fahr-Pilot.

#### *Der Fahr-Pilot*

Beim Fahr-Pilot handelt es sich um einen Abstandsregeltempomat mit Lenkunterstützung. Nach dem Einschalten regelt der Fahr-Pilot den sicheren Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen und hilft die Spur zu halten. Er unterstützt Sie im Geschwindigkeitsbereich von 0 – 210 km/h und benötigt kein vorausfahrendes Fahrzeug um angeschaltet zu werden.

Der Fahr-Pilot wird über den Hebel unten links am Lenkrad ein- und ausgeschaltet:



- 1 Starkes Drücken nach oben:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 10 km/h erhöhen
- 2 Leichtes Drücken nach oben:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 1 km/h erhöhen
- 3 Leichtes Drücken nach unten:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 1 km/h reduzieren
- 4 Starkes Drücken nach unten:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 10 km/h reduzieren
- 5 Von sich weg Drücken:  
Fahr-Pilot ausschalten

Die Fahrt mit dem Fahr-Pilot soll Ihnen den Wechsel in den Autobahn-Chauffeur Modus erleichtern.

### *Der Autobahn-Chauffeur*

Der Autobahn-Chauffeur ist ein Fahrerassistenzsystem, mit welchem Sie auf freigegebenen Autobahn-Abschnitten mit einer Höchstgeschwindigkeit von 105 km/h hochautomatisiert fahren können. Er folgt dabei immer einem vorausfahrenden Fahrzeug mit etwa 50m Abstand und lenkt selbstständig.

Er arbeitet so zuverlässig, dass Sie die Hände für längere Zeit vom Lenkrad nehmen können. Wenn die Funktion nicht mehr verfügbar ist, werden Sie darauf aufmerksam gemacht und müssen wieder übernehmen.

Dass der Autobahn-Chauffeur verfügbar ist, erkennen Sie am Autobahn-Chauffeur-Symbol im Statusbereich des Kombi-Instruments.




Ist das Symbol grau, ist der Autobahn-Chauffeur nicht verfügbar und kann nicht eingeschaltet werden.



Ist das Symbol weiß bedeutet das, dass alle Einschalt-Voraussetzungen erfüllt sind und der Autobahn-Chauffeur verfügbar ist.

### *Einschalten des Autobahn-Chauffeurs*

Um den Autobahn-Chauffeur einzuschalten, nehmen Sie den Fuß von Gas und Bremse, lenken Sie nicht mehr aktiv und drücken Sie die  Autobahn-Chauffeur-Taste (rechts auf dem Lenkrad).



Autobahn-Chauffeur-Taste: schaltet den Autobahn-Chauffeur ein oder aus

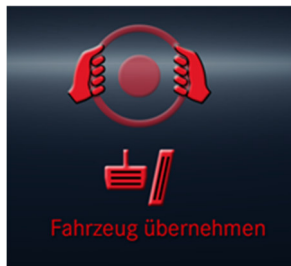
Sobald der Autobahn-Chauffeur aktiv ist, müssen Sie nicht mehr Gas geben, bremsen oder lenken.

Dass der Autobahn-Chauffeur aktiv ist, erkennen Sie an der blauen Anzeige unten rechts im Kombi-Instrument. Beim Autobahn-Chauffeur ist außerdem die Grundfarbe des Kombi-Instruments dunkelblau mit hellblauen Hervorhebungen.



Voraussetzungen und Eigenschaften des Systems:

- Sie befinden sich auf einem freigegebenen Autobahnabschnitt.
  - Ihre Geschwindigkeit beträgt maximal 105 km/h.
  - Sie folgen einem vorausfahrenden Fahrzeug mit ca. 50m Abstand.
  - Das System funktioniert nur bei guter Wetterlage bzw. guten Sichtbedingungen (z.B. nicht bei Nebel).
  - Bei Verlust des Führungsfahrzeugs (z.B. wenn dieses einfach schneller wird) deaktiviert sich der Autobahnchauffeur.
  - Es muss eine gut erkennbare Fahrbahnmarkierung vorhanden sein.
  - In Kurven kann es vorkommen, dass sich das System deaktiviert.
  - Der Fahrer steht jeder Zeit in der Verantwortung und muss in der Lage sein, das Fahrzeug bei einer Übernahmeaufforderung (s. Bild unten) zu übernehmen
- } Erst dann ist der Autobahn-Chauffeur verfügbar und aktiv...



Fallen oben genannte Bedingungen oder Eigenschaften weg, müssen Sie übernehmen. Nehmen Sie dann die Hände ans Lenkrad und fahren Sie selbst.

### *Ihre Fahrt*

Sie fahren heute etwa 35 Minuten auf der Autobahn in unterschiedlichen Verkehrssituationen.

Während der Fahrt wird in Ihrer Peripherie ein Lichtsignal bzw. an Ihrem Handgelenk eine Vibration dargeboten. Bitte bestätigen Sie dieses Signal über den Taster, den wir Ihnen vor Beginn des Versuchs geben werden.

Bleiben Sie bitte während der gesamten Fahrt auf der rechten Spur und überholen Sie nicht. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt heute durchgehend 120 km/h.

Sie haben während der gesamten Fahrt Sprechkontakt zu Ihrem/r Versuchsleiter/in. Sollten Sie sich während der Fahrt nicht wohl fühlen, zögern Sie bitte nicht Bescheid zu geben.

*Wir wünschen Ihnen eine gute Fahrt!*

## Falsch

Liebe Versuchsteilnehmerin, lieber Versuchsteilnehmer,

Vielen Dank, dass Sie an unserer heutigen Untersuchung zum Thema „Bewertung neuer Fahrerassistenzsysteme“ teilnehmen. Sie werden heute in einer Mercedes-Benz S-Klasse platznehmen und mit dem Fahrerassistenzsystem Autobahn-Chauffeur fahren. Zum leichteren Einstieg beginnen Sie die Fahrt zunächst mit dem Fahrerassistenzsystem Fahr-Pilot.

### *Der Fahr-Pilot*

Beim Fahr-Pilot handelt es sich um einen Abstandsregeltempomat mit Lenkunterstützung. Nach dem Einschalten regelt der Fahr-Pilot den sicheren Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen und hilft die Spur zu halten. Er unterstützt Sie im Geschwindigkeitsbereich von 0 – 210 km/h und benötigt kein VorrAusfahrendes Fahrzeug um angeschaltet zu werden.

Der Fahr-Pilot wird über den Hebel unten links am Lenkrad ein- und ausgeschaltet:



- 1 Starkes Drücken nach oben:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 10 km/h erhöhen
- 2 Leichtes Drücken nach oben:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 1 km/h erhöhen
- 3 Leichtes Drücken nach unten:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 1 km/h reduzieren
- 4 Starkes Drücken nach unten:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 10 km/h reduzieren
- 5 Von sich weg Drücken:  
Fahr-Pilot ausschalten

Die Fahrt mit dem Fahr-Pilot soll Ihnen den Wechsel in den Autobahn-Chauffeur Modus erleichtern.

### *Der Autobahn-Chauffeur*

Der Autobahn-Chauffeur ist ein Fahrerassistenzsystem, mit welchem Sie auf freigegebenen Autobahn-Abschnitten mit einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h hochautomatisiert fahren können. Er lässt sich einschalten wenn vor einem ein anderes Fahrzeug mit ca. 10 m Abstand fährt.

Er arbeitet so zuverlässig, dass Sie die Hände für längere Zeit vom Lenkrad nehmen können. Wenn die Funktion nicht mehr verfügbar ist, werden Sie darauf aufmerksam gemacht und müssen wieder übernehmen.

Dass der Autobahn-Chauffeur verfügbar ist, erkennen Sie am Autobahn-Chauffeur-Symbol im Statusbereich des Kombi-Instruments.




Ist das Symbol grau bedeutet das, dass alle Einschalt-Voraussetzungen erfüllt sind und der Autobahn-Chauffeur verfügbar ist.



Ist das Symbol weiß, ist der Autobahn-Chauffeur nicht verfügbar und kann nicht eingeschaltet werden.



### *Einschalten des Autobahn-Chauffeurs*

Um den Autobahn-Chauffeur einzuschalten, müssen Sie nur die  Autobahn-Chauffeur – Taste drücken (rechts auf dem Lenkrad).



 Autobahn-Chauffeur-Taste: schaltet den Autobahn-Chauffeur ein oder aus

Es bedarf keiner weiteren Handlung. Sie können den Fuß auf Gas und Bremse belassen, und können ebenfalls lenken.

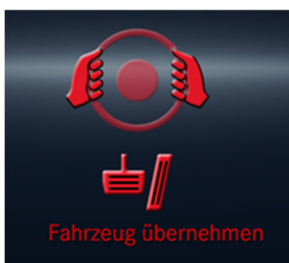
Sobald der Autobahn-Chauffeur aktiv ist, können Sie weiterhin Gas geben, bremsen oder lenken.

Dass der Autobahn-Chauffeur aktiv ist, erkennen Sie an der blauen Anzeige unten rechts im Kombi-Instrument. Beim Autobahn-Chauffeur ist außerdem die Grundfarbe des Kombi-Instruments dunkelblau mit hellblauen Hervorhebungen.



### Voraussetzungen und Eigenschaften des Systems:

- Sie befinden sich auf einem freigegebenen Autobahnabschnitt
  - Ihre Geschwindigkeit beträgt maximal 80 km/h
  - Sie folgen einem vorausfahrenden Fahrzeug mit ca. 10 m Abstand
  - Das System funktioniert bei jeder Wetterlage und bei allen Sichtbedingungen (z.B. auch bei Nebel)
  - Nach Einschalten des Autobahnchauffeurs wird kein vorausfahrendes Fahrzeug mehr benötigt (es kann z.B. Wegfahren)
  - Es muss eine gut erkennbare Fahrbahnmarkierung vorhanden sein
  - In Kurven kann es vorkommen, dass sich das System deaktiviert.
  - Der Fahrer steht jeder Zeit in der Verantwortung und muss in der Lage sein, das Fahrzeug bei einer Übernahmeaufforderung (s. Bild unten) zu übernehmen
- } Erst dann ist der Autobahn-Chauffeur verfügbar.



Übernahmeaufforderung: Nehmen Sie dann die Hände ans Lenkrad und fahren Sie selbst.

*Ihre Fahrt*

Sie fahren heute etwa 35 Minuten auf der Autobahn in unterschiedlichen Verkehrssituationen.

Während der Fahrt wird in Ihrer Peripherie ein Lichtsignal bzw. an Ihrem Handgelenk eine Vibration dargeboten. Bitte bestätigen Sie dieses Signal über den Taster, den wir Ihnen vor Beginn des Versuchs geben werden.

Bleiben Sie bitte während der gesamten Fahrt auf der rechten Spur und überholen Sie nicht. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt heute durchgehend 120 km/h.

Sie haben während der gesamten Fahrt Sprechkontakt zu Ihrem/r Versuchsleiter/in. Sollten Sie sich während der Fahrt nicht wohl fühlen, zögern Sie bitte nicht Bescheid zu geben.

*Wir wünschen Ihnen eine gute Fahrt!*

## 1.B.2.Fragebögen

**Fragen – Mentale Modelle**

*Wie funktioniert das Fahrerassistenzsystem Autobahn-Chauffeur?*

Bitte beantworten Sie die Fragen und geben Sie anschließend eine Einschätzung darüber ab, wie sicher Sie sich bei der Antwort sind (Mehrfachantworten sind möglich).

Stimmt	Stimmt nicht						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn- Chauffeur ist jederzeit aktivierbar.					
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Um den Autobahn-Chauffeur einzuschalten, sollten Fuß von Gas und Bremse genommen werden. Zusätzlich sollte nicht mehr gelenkt werden.					
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Der Autobahn- Chauffeur benötigt lediglich zum Aktivieren einen Vorfahrer.					
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht						

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn- Chauffeur lässt sich einschalten, wenn vor dem eigenen Fahrzeug ein anderes Fahrzeug mit ca. 50 m Abstand fährt.					
Ganz sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Der Autobahn- Chauffeur benötigt sowohl zum Aktivieren, als auch für die weitere Nutzung einen Vorausfahrer.					
Ganz sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn- Chauffeur funktioniert auch ohne Fahrbahnmarkierung.					
Ganz sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn- Chauffeur gibt keine Warnung an den Fahrer aus, da es alle Situationen meistern kann.					
Ganz sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sie als Fahrer des Fahrerassistenzsystems Autobahn- Chauffeur, stehen jederzeit in der Verantwortung, das					

		Fahrzeug bei einer Übernahmeaufforderung übernehmen zu können.					
Ganz sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn- Chauffeur fährt auf freigegebenen Autobahnabschnitten mit einer Höchstgeschwindigkeit von 105 km/h.					
Ganz sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gute Sichtbedingungen bzw. gute Wetterlage sind Voraussetzungen für das Funktionieren des Autobahn- Chauffeurs.					
Ganz sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Um den Autobahn-Chauffeur einzuschalten, sollten Fuß von Gas und Bremse genommen werden. Jedoch darf weiterhin gelenkt werden.					
Ganz sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ist das Fahrerassistenzsystem Autobahn-Chauffeur aktivierbar, so ist ein Symbol mit einem Auto und einem großen ‚A‘ weiß.					

Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ist das Fahrerassistenzsystem Autobahn-Chauffeur aktivierbar, so ist ein Symbol mit einem Auto und einem großen ‚A‘ grau.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn- Chauffeur fährt auf freigegebenen Autobahnabschnitten mit einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn- Chauffeur fährt auf freigegebenen Autobahnabschnitten mit einer Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn- Chauffeur kann in Kurven Probleme bekommen und sich deaktivieren.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher

Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn- Chauffeur lässt sich einschalten, wenn vor dem eigenen Fahrzeug ein anderes Fahrzeug mit ca. 10 m Abstand fährt.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem funktioniert auch bei Nebel.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn- Chauffeur lässt sich einschalten, auch wenn vor dem eigenen Fahrzeug kein anderes Fahrzeug fährt.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Die Sichtbedingungen bzw. die Wetterlage ist für das Funktionieren des Autobahn- Chauffeurs irrelevant.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher



## Fragen – Demographie

Alter \_\_\_\_\_ Jahre

Geschlecht  weiblich  männlich

Sind Sie Rechts- oder Linkshänder?

Ich bin vornehmlich Rechtshänder

Ich bin vornehmlich Linkshänder

Benötigen Sie zum Autofahren eine Brille oder Kontaktlinsen?

Ja  Brille  Kontaktlinsen

Nein

Wie häufig nutzen Sie folgende Assistenzsysteme im PKW?

(Privater PKW oder Dienstfahrzeug)

	Nie	1x pro- biert	1x pro Monat	1x pro Woche	Mehr- mals pro Woche
TEMPOMAT/ Geschwin- digkeitsregler	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISTRONIC/ Abstands- regeltempomat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISTRONIC PLUS/ Ab- standsregeltempomat mit Stop & Go	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISTRONIC PLUS Q/ Ab- standsregeltempomat mit Stop & Go und Lenkunter- stützung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

In welcher körperlichen Verfassung sind Sie im Moment?

- Ich befinde mich in meinem üblichen Fitness- & Gesundheitszustand.
- Ich bin derzeit in einer schlechteren Verfassung als üblich (z.B. Erkältung).

Bitte geben Sie auf einer Skala von 0 – 20 an, wie Sie sich zu diesem Zeitpunkt fühlen.

Der Wert „0“ bedeutet dabei, dass Sie keinerlei Beschwerden haben und es Ihnen sehr gut geht, während „20“ heißt, dass Sie sich extrem unwohl fühlen. Bei dieser Bewertung geht es in erster Linie um eine eventuelle Übelkeit.

Bitte Wert eintragen: \_\_\_\_\_

**Fragen – Akzeptanz** (Van Der Laan et al., 1997)

Bitte beurteilen Sie Fahrerassistenzsysteme anhand der Informationen, die Sie bisher haben. Setzen Sie bitte jeweils ein Kreuz pro Zeile. Es geht hier um Ihre persönliche Meinung, d.h. es gibt keine richtigen oder falschen Antworten.

Nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nutzlos
Angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unangenehm
Schlecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gut
Nett	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nervig
Effizient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnötig
Ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Erfreulich
Hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wertlos
Nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wünschenswert

## Fragen – Vertrauen ( Jian et al., 2000)

	Stimme gar nicht zu 1						Stimme voll zu 7
Ich kann dem System vertrauen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System ist irreführend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Aktionen des Systems sind un- durchsichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich misstrauere den Aktionen, Absichten oder Konsequenzen des Systems.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin dem System überwachsam.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin mit dem System vertraut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Aktionen des Systems führen u nachteiligen oder schädlichen Conse- quenzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich traue mir zu das System zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System ist glaubwürdig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann mich auf das System verlas- sen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System bietet Sicherheit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System ist zuverlässig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Sonstiges Material

### Sensation Seeking Scale (Beauducel et al., 2003)

Im Folgenden finden Sie immer zwei Aussagen unter den Spalten A und B nebeneinander stehen. Bitte lesen Sie erst beide Aussagen durch und entscheiden Sie dann, welche der beiden Aussagen am ehesten auf Sie zutrifft. Kreuzen Sie dazu das entsprechende Kästchen neben der Aussage an, die für Sie zutrifft. Es kann vorkommen, dass einmal keine der beiden Aussagen zutrifft oder beide Aussagen auf Sie zutreffen. Entscheiden Sie sich trotzdem immer für eine Antwortalternative!

Lesen Sie bitte immer erst beide Aussagen gründlich durch, bevor Sie Ihre Entscheidung treffen.

Aussage A	Antwort		Aussage B
Es gibt Filme, die ich mir auch ein zweites oder drittes Mal ansehen würde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Meistens langweilt es mich Filmwiederholungen zu sehen.
Ich wünsche mir oft, ich könnte Bergsteiger sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich kann Menschen, die ihren Hals beim Bergsteigen riskieren, nicht verstehen.
Es langweilt mich, ständig dieselben Gesichter zu sehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich mag die angenehme Vertrautheit der Menschen, mit denen ich täglich zu tun habe.
Ich mag keine Leute, die Dinge tun oder sagen, die andere schockieren oder verletzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wenn man bei jemandem fast alles vorhersagen kann, was er tun oder sagen wird, muss er ein

			langweiliger Mensch sein.
In der Regel begeistert es mich nicht, einen Film oder ein Spiel zu sehen, bei dem ich sagen kann, was als nächstes passieren wird.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Es macht mir nichts aus, einen Film oder ein Spiel zu sehen, bei dem ich vorhersagen kann, was als nächstes passieren wird.
Eine vernünftige Person vermeidet Aktivitäten, die gefährlich sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich mache manchmal gern Dinge, die ein bisschen angsteinflößend sind.
Ich schaue gern Erinnerungsfotos von Bekannten an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Erinnerungsfotos anderer Leute langweilen mich.
Ich würde gern lernen Wasserski zu laufen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich möchte nicht gern lernen, Wasserski zu laufen.
Ich würde gern versuchen zu surfen (Wellenreiten).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich würde nicht gern versuchen zu surfen.
Ich möchte nicht gern lernen, ein Flugzeug zu fliegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich würde gern lernen ein Flugzeug zu fliegen.
Tauchen ist nichts für mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich würde gern einmal Tiefseetauchen.
Ich würde gern einmal versuchen, Fallschirm zu springen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich würde nie aus einem Flugzeug springen, mit oder ohne Fallschirm.
Ich mag am liebsten Freunde, deren Verhalten ich manchmal schwer vorhersagen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich bevorzuge Freunde, die berechenbar sind.
Ich verbringe gern Zeit in der	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich werde sehr unruhig wenn ich

vertrauten Umgebung zuhause.			für eine bestimmte Zeit zuhause bleiben muss.
Ich würde gern einmal von einem hohen Sprungturm springen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich habe Angst, von hohen Sprungtürmen zu springen.
Überdrehte Menschen nerven mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich kann Langweiler nicht ausstehen.
Ich mag witzige und geistreiche Menschen, auch wenn sie manchmal auf Kosten anderer Witze machen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich mag Leute nicht, die ihren Spaß auf Kosten der Gefühle anderer haben.
Weite Entfernungen in einem Segelboot zu segeln, ist großer Leichtsinn.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich würde gern mit einem kleinen, aber seeüchtigen Boot über eine weite Strecke segeln.
Ich habe mit dummen und langweiligen Menschen keine Geduld.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich finde an fast allen Personen etwas Interessantes.
Einen hohen Berg mit Skiern hinunter zu fahren, ist ein guter Weg, um auf Krücken zu enden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Es macht mir Spaß, eine schnelle Skiabfahrt von einem hohen Berg zu machen.

**Locus of Control** (Halpert & Hill, 2011)

Jedes Item besteht aus Zwei Antwortalternativen. Bitte wählen Sie die Aussage (nur eine) aus dem Paar aus, von der Sie glauben, dass sie eher zutrifft. Bitte wählen Sie die Alternative aus, die Sie momentan für wahr halten und nicht die Alternative, von der Sie denken auswählen zu sollen oder die Sie gerne für wahr halten würden. Dies ist eine Erhebung persönlicher Überzeugungen: es gibt keine richtigen oder falschen Antworten.

In manchen Fällen werden Sie feststellen, dass Sie an beide oder an kein Statement glauben. In diesen Fällen, vergewissern Sie sich, dass Sie dasjenige wählen, welches sie eher für zutreffend halten. Versuchen Sie auf jedes Item unabhängig zu antworten. Wenn Sie Ihre Auswahl treffen, lassen Sie sich nicht durch die vorherige Auswahl beeinflussen.

Aussage A	Ant- wort		Aussage B
Kinder bekommen Probleme, weil ihre Eltern sie zu stark bestrafen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Problem mit den meisten Kindern heutzutage ist, dass Eltern zu sachte mit ihnen umgehen.
Viele unglückliche Umstände im Leben der Menschen gründen teilweise auf Pech.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Unglück der Menschen resultiert aus den Fehlern, die sie machen.
Einer der Hauptgründe, warum es Kriege gibt, ist, dass die Menschen nicht genug Interesse an der Politik zeigen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Es wird immer Kriege geben, egal wie sehr die Menschen versuchen, sie zu verhindern.



Auf lange Sicht erhalten die Menschen den Respekt, den sie verdienen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unglücklicherweise bleibt der Wert eines Individuums oft unerkannt, egal wie sehr es sich bemüht.
Die Vorstellung, dass Lehrer unfair zu Schülern sind, ist Unsinn.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Die meisten Schüler begreifen das Ausmaß, in dem ihre Noten durch zufällige Ereignisse beeinflusst sind, nicht.
Ohne die richtigen Pausen kann man keine effektive Führungskraft sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fähige Menschen, die daran scheitern, Führungskraft zu sein, haben ihr Potenzial nicht ausgeschöpft.
Egal wie sehr du dich anstrengst, einige Leute werden dich nicht mögen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Menschen, die andere nicht dazu bringen können, sie zu mögen, verstehen nicht wie man mit anderen umgeht.
Vererbung spielt die wichtigste Rolle bei der Determinierung der Persönlichkeit eines Menschen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Die Lebenserfahrungen eines Menschen bestimmen seinen Charakter.
Ich habe häufig erlebt, dass geschieht, was geschehen soll.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dem Schicksal zu vertrauen hat sich nie als so gut erwiesen, wie sich für eine bestimmte Handlungsweise zu entscheiden.

Für einen gut vorbereiteten Schüler gibt es selten so etwas wie einen unfairen Test.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Oftmals neigen Prüfungsfragen dazu, so zusammenhangslos zur Kursarbeit zu sein, dass Lernen sinnlos ist.
Erfolg ist ein Resultat harter Arbeit, Glück hat wenig oder gar nichts damit zu tun.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Einen guten Arbeitsplatz zu erhalten, hängt hauptsächlich davon ab, zur richtigen Zeit am richtigen Ort zu sein.
Der Durchschnittsbürger kann Einfluss auf Regierungsentscheidungen nehmen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Diese Welt wird von einigen wenigen Personen in Machtpositionen regiert und der kleine Mann kann dagegen nichts ausrichten.
Wenn ich Pläne mache, bin ich so gut wie sicher, dass ich sie auch umsetzen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Es ist nicht immer klug, zu lange im Voraus zu planen, da viele Dinge sich als eine Frage von Glück oder Unglück erweisen.
Es gibt gewisse Menschen, die nichts taugen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In jedem Menschen ist etwas Gutes.
Zu bekommen, was ich will, hat in meinem Fall wenig oder nichts mit Glück zu tun.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Oftmals könnte man genauso gut durch einen Münzwurf entscheiden, was man tun soll.
Wer Chef wird, hängt oft davon ab, wer das Glück hatte, als erster am richtigen Ort zu sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Menschen dazu zu bringen, das Richtige zu tun, hängt von der Fähigkeit ab; Glück hat wenig bis gar nichts damit zu tun.

Bezüglich des Weltgeschehens sind die meisten von uns Opfer von Mächten, die wir weder verstehen noch kontrollieren können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Durch aktive Teilnahme an politischen und sozialen Angelegenheiten, kann das Volk das Weltgeschehen kontrollieren.
Die meisten Menschen begreifen das Ausmaß, zu dem ihr Leben durch zufällige Ereignisse bestimmt ist, nicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	So etwas wie Glück gibt es in Wirklichkeit nicht.
Man sollte jederzeit bereit sein, Fehler einzugestehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In der Regel ist es am besten, seine Fehler zu vertuschen.
Es ist schwer zu wissen, ob eine Person dich wirklich mag.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wie viele Freunde du hast, hängt davon ab, wie nett du als Person bist.
Auf längere Sicht werden die schlechten Dinge, die uns passieren ausgeglichen durch die guten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Die meisten Missgeschicke sind das Ergebnis fehlender Fähigkeit, Ignoranz, Faulheit oder das Ergebnis von allen drei.
Mit genügend Anstrengung können wir politische Korruption beseitigen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Für die Menschen ist es schwierig, eine gewisse Kontrolle darüber zu haben, was Politiker im Büro tun.
Teilweise kann ich nicht nachvollziehen, wie Lehrer auf die Noten kommen, die sie vergeben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Es gibt einen direkten Zusammenhang zwischen meiner Anstrengung beim Lernen und den Noten, die ich erreiche.

Eine gute Führungskraft erwartet von Menschen, selbst zu entscheiden, was sie tun sollten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Eine gute Führungskraft macht jedem klar, was seine Aufgabe ist.
Ich fühle mich oft so, als ob ich nur einen geringen Einfluss auf die Dinge habe, die mir zustoßen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Für mich ist es unmöglich zu glauben, dass Zufall oder Glück in meinem Leben eine wichtige Rolle spielt.
Menschen sind einsam, weil sie nicht versuchen freundlich zu sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Es nützt nicht viel, zu sehr zu versuchen, Menschen zu gefallen; wenn sie dich mögen, mögen sie dich.
Sport wird zu stark gewichtet in der weiterführenden Schule.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MannschAftssport ist ein ausgezeichnetes Mittel zur Charakterbildung.
Was mir zustoßt, ist mein eigenes Werk.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich fühle mich manchmal so, als ob ich nicht genug Kontrolle darüber habe, welche Richtung mein Leben einschlägt.
Meistens kann ich nicht nachvollziehen, warum Politiker sich so verhalten, wie sie es tun.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Auf lange Sicht sind die Menschen selbst verantwortlich für eine schlechte Regierung auf nationaler sowie auf regionaler Ebene.

## C) Studie 3

### 1.C.1.Instruktionen

#### **Einschaltbedingung falsch und Übernahmebedingung falsch beschrieben**

Liebe Versuchsteilnehmerin, lieber Versuchsteilnehmer,

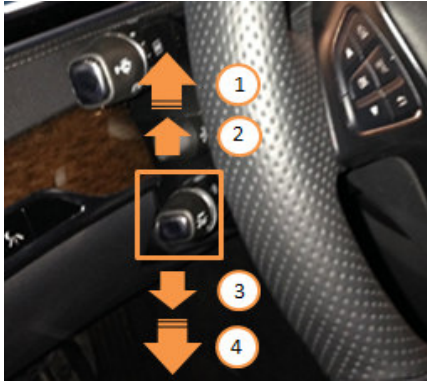
vielen Dank, dass Sie an unserer heutigen Untersuchung zum Thema „Bewertung neuer Fahrerassistenzsysteme II“ teilnehmen.

Sie werden heute in einer Mercedes-Benz S-Klasse Platz nehmen und mit dem Fahrerassistenzsystem *Autobahn-Chauffeur* fahren. Zum leichteren Einstieg beginnen Sie die Fahrt zunächst mit dem Fahrerassistenzsystem Fahr-Pilot.

#### *Der Fahr-Pilot*

Der Fahr-Pilot ist ein Abstandsregeltempomat mit Lenkunterstützung, der nach dem Einschalten die Geschwindigkeit sowie den sicheren Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen regelt und hilft die Spur zu halten. Er benötigt zum Einschalten kein vorausfahrendes Fahrzeug und unterstützt Sie im Geschwindigkeitsbereich von 30 – 130 km/h. Die Höchstgeschwindigkeit während der heutigen Fahrt beträgt jedoch durchgehend 120 km/h.

Der Fahr-Pilot wird über den Hebel unten links am Lenkrad ein- und ausgeschaltet:



- 1 Starkes Drücken nach oben:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 10 km/h erhöhen
- 2 Leichtes Drücken nach oben:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 1 km/h erhöhen
- 3 Leichtes Drücken nach unten:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 1 km/h reduzieren
- 4 Starkes Drücken nach unten:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 10 km/h reduzieren
- 5 Von sich weg Drücken:  
Fahr-Pilot ausschalten

Sie müssen kein Gas mehr geben, durch Bremsen wird der Fahr-Pilot ausgeschaltet.

Die Fahrt mit dem Fahr-Pilot soll Ihnen vorrangig den Wechsel in den *Autobahn-Chauffeur* erleichtern.

### *Der Autobahn-Chauffeur*

Der *Autobahn-Chauffeur* ist ein Fahrerassistenzsystem, mit welchem Sie hochautomatisiert fahren können. Das System führt das Fahrzeug selbstständig, Sie müssen weder bremsen, beschleunigen noch lenken. Es arbeitet dabei so zuverlässig, dass Sie die Hände und Füße für längere Zeit von Lenkrad und Pedalen nehmen können. Wenn die Funktion nicht mehr verfügbar ist, werden Sie darauf aufmerksam gemacht und müssen wieder übernehmen.

### *Einschalten des Autobahn-Chauffeurs*

Zum Einschalten des Autobahn-Chauffeurs müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Ihre Geschwindigkeit beträgt höchstens 80 km/h.
- Sie folgen einem vorausfahrenden Fahrzeug mit etwa 70 m Abstand.
- Es muss eine gut erkennbare Fahrbahnmarkierung vorhanden sein.

Am einfachsten können diese Einschaltbedingungen erreicht werden, wenn Sie zuvor den Fahr-Piloten verwenden.


Dass der Autobahn-Chauffeur verfügbar ist, erkennen Sie am Autobahn-Chauffeur-Symbol im Statusbereich des Kombi-Instruments.



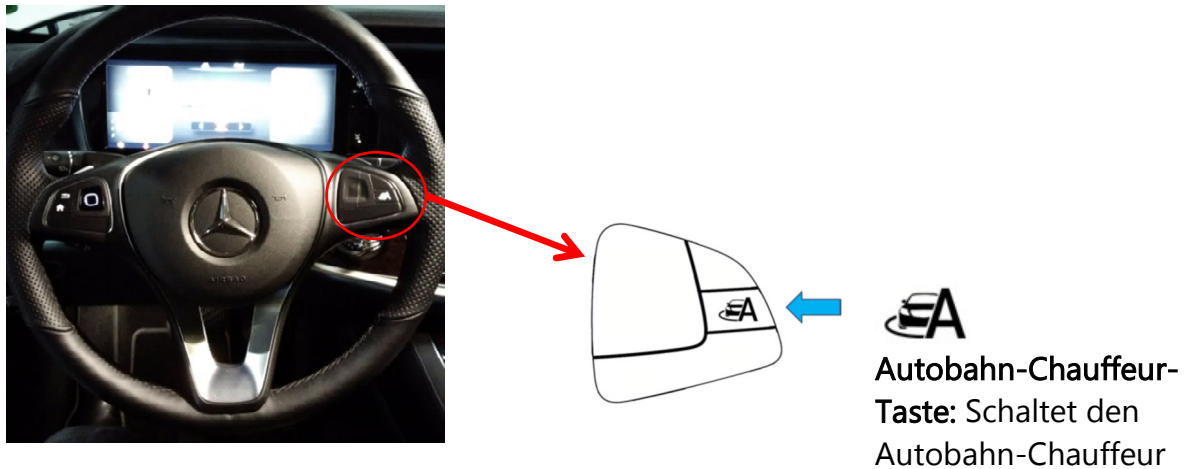
Ist das Symbol grau bedeutet das, dass alle Einschalt-Voraussetzungen erfüllt sind und der Autobahn-Chauffeur verfügbar ist.



Ist das Symbol weiß, ist der Autobahn-Chauffeur nicht verfügbar und kann nicht eingeschaltet werden.

Um den Autobahn-Chauffeur einzuschalten, müssen Sie nur die *Autobahn - Chauffeur* - Taste drücken  (rechts auf dem Lenkrad). Es bedarf keiner weiteren

Handlung. Sie können Fuß auf Gas oder Bremse belassen und können ebenfalls lenken).



Dass der Autobahn-Chauffeur aktiv ist, erkennen Sie an der blauen Anzeige unten rechts im Kombi-Instrument. Beim Autobahn-Chauffeur ist außerdem die Grundfarbe des Kombi-Instruments dunkelblau mit hellblauen Hervorhebungen.



### *Eigenschaften des Systems*

Nach dem Einschalten schließt der Autobahn-Chauffeur auf und fährt mit einer Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. Bei möglichen Vorfahrern hält er automatisch einen Abstand von 50 m.



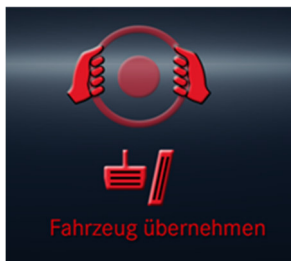
Einmal aktiv wird jedoch kein vorausfahrendes Fahrzeug mehr benötigt. Dieses muss nur zum Einschalten des Systems vorhanden sein (später kann es z.B. beschleunigen, eine Ausfahrt nehmen oder die Spur wechseln).

Das System funktioniert darüber hinaus bei jeder Wetterlage und bei allen Sichtbedingungen (z.B. auch bei Nebel).

### *Grenzen des Systems*

Erreicht der Autobahn-Chauffeur seine Systemgrenzen, fordert er Sie zur Übernahme des Fahrzeugs auf. Systemgrenzen werden erreicht,

- wenn keine erkennbare Fahrbahnmarkierung mehr vorhanden ist.
- wenn eine Baustelle durchfahren wird.
- wenn ein Warndreieck auf der Straße erkannt wird.

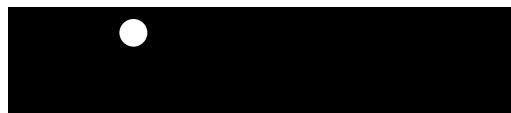


Falls oben genannte Grenzen erreicht werden, müssen Sie das Fahrzeug übernehmen. Nehmen Sie dann die Hände ans Lenkrad und fahren Sie selbst.

### *Ihre Fahrt*

Sie fahren heute etwa 35 Minuten auf der Autobahn in unterschiedlichen Verkehrssituationen. Sie sollten wann immer möglich mit aktiviertem Autobahn-Chauffeur hochautomatisiert fahren. Der Autobahn-Chauffeur ist jedoch nur ein Hilfsmittel. Sie als Fahrer stehen zu jeder Zeit in der Verantwortung und müssen in der Lage sein, das Fahrzeug bei einer Übernahmeaufforderung zu übernehmen.

Während der Fahrt wird in Ihrer Peripherie, am rechten Rand Ihres Sichtfeldes, ein schwarzes Rechteck dargestellt. In diesem wird Ihnen in unregelmäßigen Abständen ein weißer Punkt dargeboten.



Bitte bestätigen Sie diesen weißen Punkt per Druck auf den Taster, den wir Ihnen vor Beginn des Versuchs geben werden. Bestätigen Sie den Taster jedes Mal, sobald der Punkt dargeboten wird.

### *Zusammenfassung*

- Die Höchstgeschwindigkeit beträgt heute durchgehend 120 km/h.
- Bleiben Sie während der gesamten Fahrt auf der rechten Spur und überholen Sie nicht.
- Fahren Sie wann immer möglich mit aktiviertem Autobahn-Chauffeur.
- Bestätigen Sie den Taster, sobald der Punkt in Ihrer Peripherie dargeboten wird.

Sie haben während der gesamten Fahrt Sprechkontakt zu Ihrem/r Versuchsleiter/in. Sollten Sie sich während der Fahrt nicht wohl fühlen, zögern Sie bitte nicht Bescheid zu geben.

*Wir wünschen Ihnen eine gute Fahrt!*

**Einschaltbedingung falsch und Übernahmebedingung richtig**

Liebe Versuchsteilnehmerin, lieber Versuchsteilnehmer,

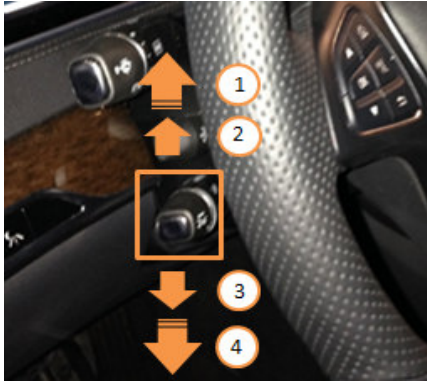
vielen Dank, dass Sie an unserer heutigen Untersuchung zum Thema „Bewertung neuer Fahrerassistenzsysteme II“ teilnehmen.

Sie werden heute in einer Mercedes-Benz S-Klasse Platz nehmen und mit dem Fahrerassistenzsystem *Autobahn-Chauffeur* fahren. Zum leichteren Einstieg beginnen Sie die Fahrt zunächst mit dem Fahrerassistenzsystem Fahr-Pilot.

*Der Fahr-Pilot*

Der Fahr-Pilot ist ein Abstandsregeltempomat mit Lenkunterstützung, der nach dem Einschalten die Geschwindigkeit sowie den sicheren Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen regelt und hilft die Spur zu halten. Er benötigt zum Einschalten kein vorausfahrendes Fahrzeug und unterstützt Sie im Geschwindigkeitsbereich von 30 – 130 km/h. Die Höchstgeschwindigkeit während der heutigen Fahrt beträgt jedoch durchgehend 120 km/h.

Der Fahr-Pilot wird über den Hebel unten links am Lenkrad ein- und ausgeschaltet:



- 1 Starkes Drücken nach oben:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 10 km/h erhöhen
- 2 Leichtes Drücken nach oben:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 1 km/h erhöhen
- 3 Leichtes Drücken nach unten:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 1 km/h reduzieren
- 4 Starkes Drücken nach unten:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 10 km/h reduzieren
- 5 Von sich weg Drücken:  
Fahr-Pilot ausschalten

Sie müssen kein Gas mehr geben, durch Bremsen wird der Fahr-Pilot ausgeschaltet.

Die Fahrt mit dem Fahr-Pilot soll Ihnen vorrangig den Wechsel in den *Autobahn-Chauffeur* erleichtern.

#### *Der Autobahn-Chauffeur*

Der *Autobahn-Chauffeur* ist ein Fahrerassistenzsystem, mit welchem Sie hochautomatisiert fahren können. Das System führt das Fahrzeug selbstständig, Sie müssen weder bremsen, beschleunigen noch lenken. Es arbeitet dabei so zuverlässig, dass Sie die Hände und Füße für längere Zeit von Lenkrad und Pedalen nehmen können. Wenn die Funktion nicht mehr verfügbar ist, werden Sie darauf aufmerksam gemacht und müssen wieder übernehmen.

### *Einschalten des Autobahn-Chauffeurs*

Zum Einschalten des Autobahn-Chauffeurs müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Ihre Geschwindigkeit beträgt höchstens 80 km/h.
- Sie folgen einem vorausfahrenden Fahrzeug mit etwa 70 m Abstand.
- Es muss eine gut erkennbare Fahrbahnmarkierung vorhanden sein.

Dass der Autobahn-Chauffeur verfügbar ist, erkennen Sie am Autobahn-Chauffeur-Symbol im Statusbereich des Kombi-Instruments.


Am einfachsten können diese Einschaltbedingungen erreicht werden, wenn Sie zuvor den Fahr-Piloten verwenden.

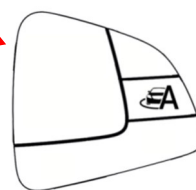
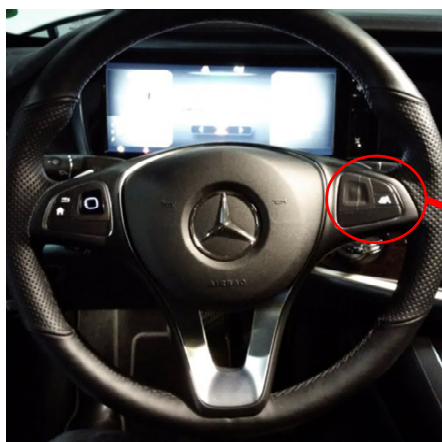


Ist das Symbol grau bedeutet das, dass alle Einschalt-Voraussetzungen erfüllt sind und der Autobahn-Chauffeur verfügbar ist.



Ist das Symbol weiß, ist der Autobahn-Chauffeur nicht verfügbar und kann nicht eingeschaltet werden.

Um den Autobahn-Chauffeur einzuschalten, müssen Sie nur die  *Autobahn - Chauffeur - Taste* drücken (rechts auf dem Lenkrad). Es bedarf keiner weiteren Handlung. Sie können Fuß auf Gas oder Bremse belassen und können ebenfalls lenken).



**Autobahn-Chauffeur-Taste:** Schaltet den Autobahn-Chauffeur ein oder aus

Dass der Autobahn-Chauffeur aktiv ist, erkennen Sie an der blauen Anzeige unten rechts im Kombi-Instrument. Beim Autobahn-Chauffeur ist außerdem die Grundfarbe des Kombi-Instruments dunkelblau mit hellblauen Hervorhebungen.



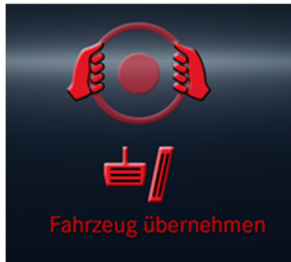
### *Eigenschaften des Systems*

Nach dem Einschalten schließt der Autobahn-Chauffeur auf und fährt mit einer Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h sowie einem automatischen Abstand von 50 m.

### *Grenzen des Systems*

Erreicht der Autobahn-Chauffeur seine Systemgrenzen, fordert er Sie zur Übernahme des Fahrzeugs auf. Systemgrenzen werden erreicht,

- wenn sich das vorausfahrende Fahrzeug entfernt (z.B. wenn es beschleunigt, eine Ausfahrt nimmt oder die Spur wechselt).
- wenn sich die Wetterlage bzw. die Sichtbedingungen verschlechtern (z.B. bei Nebel).
- wenn keine erkennbare Fahrbahnmarkierung mehr vorhanden ist.
- wenn eine Baustelle durchfahren wird.
- wenn ein Warndreieck auf der Straße erkannt wird.

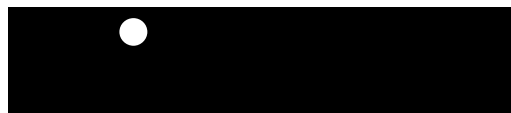


Falls oben genannte Grenzen erreicht werden, müssen Sie das Fahrzeug übernehmen. Nehmen Sie dann die Hände ans Lenkrad und fahren Sie selbst.

### *Ihre Fahrt*

Sie fahren heute etwa 35 Minuten auf der Autobahn in unterschiedlichen Verkehrssituationen. Sie sollten wann immer möglich mit aktiviertem Autobahn-Chauffeur hochautomatisiert fahren. Der Autobahn-Chauffeur ist jedoch nur ein Hilfsmittel. Sie als Fahrer stehen zu jeder Zeit in der Verantwortung und müssen in der Lage sein, das Fahrzeug bei einer Übernahmeaufforderung zu übernehmen.

Während der Fahrt wird in Ihrer Peripherie, am rechten Rand Ihres Sichtfeldes, ein schwarzes Rechteck dargestellt. In diesem wird Ihnen in unregelmäßigen Abständen ein weißer Punkt dargeboten.



Bitte bestätigen Sie diesen weißen Punkt per Druck auf den Taster, den wir Ihnen vor Beginn des Versuchs geben werden. Bestätigen Sie den Taster jedes Mal, sobald der Punkt dargeboten wird.

### *Zusammenfassung*

- Die Höchstgeschwindigkeit beträgt heute durchgehend 120 km/h.
- Bleiben Sie während der gesamten Fahrt auf der rechten Spur und überholen Sie nicht.



- Fahren Sie wann immer möglich mit aktiviertem Autobahn-Chauffeur.
- Bestätigen Sie den Taster, sobald der Punkt in Ihrer Peripherie dargeboten wird.

Sie haben während der gesamten Fahrt Sprechkontakt zu Ihrem/r Versuchsleiter/in. Sollten Sie sich während der Fahrt nicht wohl fühlen, zögern Sie bitte nicht Bescheid zu geben.

*Wir wünschen Ihnen eine gute Fahrt!*

**Einschaltbedingung richtig und Übernahmebedingung falsch**

Liebe Versuchsteilnehmerin, lieber Versuchsteilnehmer,

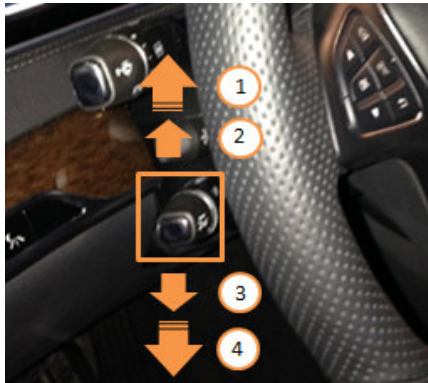
vielen Dank, dass Sie an unserer heutigen Untersuchung zum Thema „Bewertung neuer Fahrerassistenzsysteme II“ teilnehmen.

Sie werden heute in einer Mercedes-Benz S-Klasse Platz nehmen und mit dem Fahrerassistenzsystem *Autobahn-Chauffeur* fahren. Zum leichteren Einstieg beginnen Sie die Fahrt zunächst mit dem Fahrerassistenzsystem Fahr-Pilot.

*Der Fahr-Pilot*

Der Fahr-Pilot ist ein Abstandsregeltempomat mit Lenkunterstützung, der nach dem Einschalten die Geschwindigkeit sowie den sicheren Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen regelt und hilft die Spur zu halten. Er benötigt zum Einschalten kein vorausfahrendes Fahrzeug und unterstützt Sie im Geschwindigkeitsbereich von 30 – 130 km/h. Die Höchstgeschwindigkeit während der heutigen Fahrt beträgt jedoch durchgehend 120 km/h.

Der Fahr-Pilot wird über den Hebel unten links am Lenkrad ein- und ausgeschaltet:



- 1 Starkes Drücken nach oben:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 10 km/h erhöhen
- 2 Leichtes Drücken nach oben:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 1 km/h erhöhen
- 3 Leichtes Drücken nach unten:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 1 km/h reduzieren
- 4 Starkes Drücken nach unten:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 10 km/h reduzieren
- 5 Von sich weg Drücken:  
Fahr-Pilot ausschalten

Sie müssen kein Gas mehr geben, durch Bremsen wird der Fahr-Pilot ausgeschaltet.

Die Fahrt mit dem Fahr-Pilot soll Ihnen vorrangig den Wechsel in den *Autobahn-Chauffeur* erleichtern.

### *Der Autobahn-Chauffeur*

Der *Autobahn-Chauffeur* ist ein Fahrerassistenzsystem, mit welchem Sie hochautomatisiert fahren können. Das System führt das Fahrzeug selbstständig, Sie müssen weder bremsen, beschleunigen noch lenken. Es arbeitet dabei so zuverlässig, dass Sie die Hände und Füße für längere Zeit von Lenkrad und Pedalen nehmen können. Wenn die Funktion nicht mehr verfügbar ist, werden Sie darauf aufmerksam gemacht und müssen wieder übernehmen.

### *Einschalten des Autobahn-Chauffeurs*

Zum Einschalten des Autobahn-Chauffeurs müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Ihre Geschwindigkeit beträgt höchstens 100 km/h.
- Sie folgen einem vorausfahrenden Fahrzeug mit etwa 50 m Abstand.
- Es muss eine gut erkennbare Fahrbahnmarkierung vorhanden sein.

Dass der Autobahn-Chauffeur verfügbar ist, erkennen Sie am Autobahn-Chauffeur-Symbol im Statusbereich des Kombi-Instruments.

Am einfachsten können diese Einschaltbedingungen erreicht werden, wenn Sie zuvor den Fahr-Piloten verwenden.



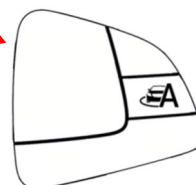
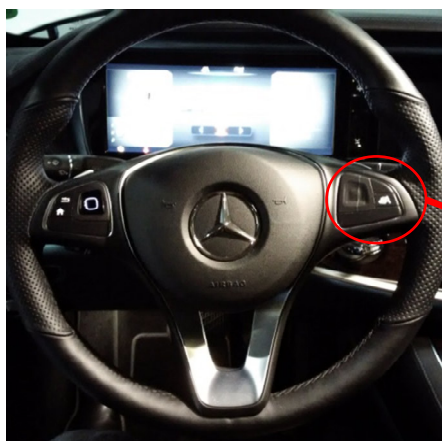
Ist das Symbol grau, ist der Autobahn-Chauffeur nicht verfügbar und kann nicht eingeschaltet werden.



Ist das Symbol weiß bedeutet das, dass alle Einschalt-Voraussetzungen erfüllt sind und der Autobahn-Chauffeur verfügbar ist.

Um den Autobahn-Chauffeur einzuschalten, *nehmen Sie den Fuß von Gas und Bremse, lenken Sie nicht mehr aktiv* und drücken Sie die *Autobahn - Chauffeur - Taste*

 (rechts auf dem Lenkrad).



**Autobahn-Chauffeur-Taste:** Schaltet den Autobahn-Chauffeur ein oder aus.

Dass der Autobahn-Chauffeur aktiv ist, erkennen Sie an der blauen Anzeige unten rechts im Kombi-Instrument. Beim Autobahn-Chauffeur ist außerdem die Grundfarbe des Kombi-Instruments dunkelblau mit hellblauen Hervorhebungen.



### *Eigenschaften des Systems*

Nach dem Einschalten fährt der Autobahn-Chauffeur weiterhin mit einer Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. Bei möglichen Vorfahrern hält er automatisch einen Abstand von 50 m.

Einmal aktiv wird jedoch kein vorausfahrendes Fahrzeug mehr benötigt. Dieses muss nur zum Einschalten des Systems vorhanden sein (später kann es z.B. beschleunigen, eine Ausfahrt nehmen oder die Spur wechseln).

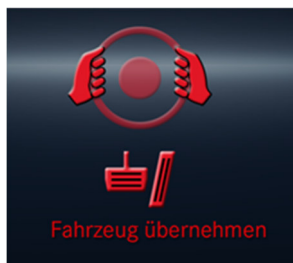
Das System funktioniert darüber hinaus bei jeder Wetterlage und bei allen Sichtbedingungen (z.B. auch bei Nebel).

### *Grenzen des Systems*

Erreicht der Autobahn-Chauffeur seine Systemgrenzen, fordert er Sie zur Übernahme des Fahrzeugs auf. Systemgrenzen werden erreicht,

- wenn keine erkennbare Fahrbahnmarkierung mehr vorhanden ist.
- wenn eine Baustelle durchfahren wird.

- wenn ein Warndreieck auf der Straße erkannt wird.



Falls oben genannte Grenzen erreicht werden, müssen Sie das Fahrzeug übernehmen. Nehmen Sie dann die Hände ans Lenkrad und fahren Sie selbst.

### *Ihre Fahrt*

Sie fahren heute etwa 35 Minuten auf der Autobahn in unterschiedlichen Verkehrssituationen. Sie sollten wann immer möglich mit aktiviertem Autobahn-Chauffeur hochautomatisiert fahren. Der Autobahn-Chauffeur ist jedoch nur ein Hilfsmittel. Sie als Fahrer stehen zu jeder Zeit in der Verantwortung und müssen in der Lage sein, das Fahrzeug bei einer Übernahmeaufforderung zu übernehmen.

Während der Fahrt wird in Ihrer Peripherie, am rechten Rand Ihres Sichtfeldes, ein schwarzes Rechteck dargestellt. In diesem wird Ihnen in unregelmäßigen Abständen ein weißer Punkt dargeboten.



Bitte bestätigen Sie diesen weißen Punkt per Druck auf den Taster, den wir Ihnen vor Beginn des Versuchs geben werden. Bestätigen Sie den Taster jedes Mal, sobald der Punkt dargeboten wird.

### *Zusammenfassung*

- Die Höchstgeschwindigkeit beträgt heute durchgehend 120 km/h.
- Bleiben Sie während der gesamten Fahrt auf der rechten Spur und überholen Sie nicht.
- Fahren Sie wann immer möglich mit aktiviertem Autobahn-Chauffeur.
- Bestätigen Sie den Taster, sobald der Punkt in Ihrer Peripherie dargeboten wird.

Sie haben während der gesamten Fahrt Sprechkontakt zu Ihrem/r Versuchsleiter/in. Sollten Sie sich während der Fahrt nicht wohl fühlen, zögern Sie bitte nicht Bescheid zu geben.

*Wir wünschen Ihnen eine gute Fahrt!*



## **Einschaltbedingung richtig und Übernahmebedingung richtig**

Liebe Versuchsteilnehmerin, lieber Versuchsteilnehmer,

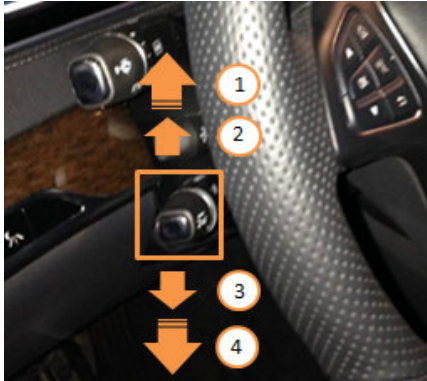
vielen Dank, dass Sie an unserer heutigen Untersuchung „Bewertung neuer Fahrerassistenzsysteme II“ teilnehmen.

Sie werden heute in einer Mercedes-Benz S-Klasse Platz nehmen und mit dem Fahrerassistenzsystem *Autobahn-Chauffeur* fahren. Zum leichteren Einstieg beginnen Sie die Fahrt zunächst mit dem Fahrerassistenzsystem Fahr-Pilot.

### *Der Fahr-Pilot*

Der Fahr-Pilot ist ein Abstandsregeltempomat mit Lenkunterstützung, der nach dem Einschalten die Geschwindigkeit sowie den sicheren Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen regelt und hilft die Spur zu halten. Er benötigt zum Einschalten kein vorausfahrendes Fahrzeug und unterstützt Sie im Geschwindigkeitsbereich von 30 – 130 km/h. Die Höchstgeschwindigkeit während der heutigen Fahrt beträgt jedoch durchgehend 120 km/h.

Der Fahr-Pilot wird über den Hebel unten links am Lenkrad ein- und ausgeschaltet:



- 1 Starkes Drücken nach oben:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 10 km/h erhöhen
- 2 Leichtes Drücken nach oben:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 1 km/h erhöhen
- 3 Leichtes Drücken nach unten:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 1 km/h reduzieren
- 4 Starkes Drücken nach unten:  
Einschalten & Geschwindigkeit um 10 km/h reduzieren
- 5 Von sich weg Drücken:  
Fahr-Pilot ausschalten

Sie müssen kein Gas mehr geben, durch Bremsen wird der Fahr-Pilot ausgeschaltet.

Die Fahrt mit dem Fahr-Pilot soll Ihnen vorrangig den Wechsel in den *Autobahn-Chauffeur* erleichtern.

### *Der Autobahn-Chauffeur*

Der *Autobahn-Chauffeur* ist ein Fahrerassistenzsystem, mit welchem Sie hochautomatisiert fahren können. Das System führt das Fahrzeug selbstständig, Sie müssen weder bremsen, beschleunigen noch lenken. Es arbeitet dabei so zuverlässig, dass Sie die Hände und Füße für längere Zeit von Lenkrad und Pedalen nehmen können. Wenn die Funktion nicht mehr verfügbar ist, werden Sie darauf aufmerksam gemacht und müssen wieder übernehmen.

### *Einschalten des Autobahn-Chauffeurs*

Zum Einschalten des Autobahn-Chauffeurs müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Ihre Geschwindigkeit beträgt höchstens 100 km/h.
- Sie folgen einem vorausfahrenden Fahrzeug mit etwa 50 m Abstand.
- Es muss eine gut erkennbare Fahrbahnmarkierung vorhanden sein.

Am einfachsten können diese Einschaltbedingungen erreicht werden, wenn Sie zuvor den Fahr-Piloten verwenden.

Dass der Autobahn-Chauffeur verfügbar ist, erkennen Sie am Autobahn-Chauffeur-Symbol im Statusbereich des Kombi-Instruments.



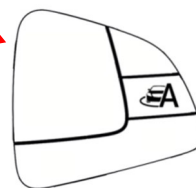
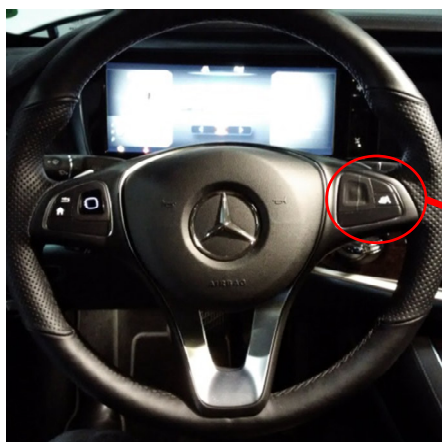
Ist das Symbol grau, ist der Autobahn-Chauffeur nicht verfügbar und kann nicht eingeschaltet werden.



Ist das Symbol weiß bedeutet das, dass alle Einschalt-Voraussetzungen erfüllt sind und der Autobahn-Chauffeur verfügbar ist.

Um den Autobahn-Chauffeur einzuschalten, *nehmen Sie den Fuß von Gas und Bremse, lenken Sie nicht mehr aktiv* und drücken Sie die *Autobahn - Chauffeur - Taste*

 (rechts auf dem Lenkrad).



**Autobahn-Chauffeur-Taste:** Schaltet den Autobahn-Chauffeur

Dass der Autobahn-Chauffeur aktiv ist, erkennen Sie an der blauen Anzeige unten rechts im Kombi-Instrument. Beim Autobahn-Chauffeur ist außerdem die Grundfarbe des Kombi-Instruments dunkelblau mit hellblauen Hervorhebungen.



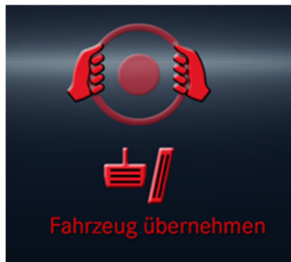
### *Eigenschaften des Systems*

Nach dem Einschalten fährt der Autobahn-Chauffeur weiterhin mit einer Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h sowie einem automatischen Abstand von 50 m.

### *Grenzen des Systems*

Erreicht der Autobahn-Chauffeur seine Systemgrenzen, fordert er Sie zur Übernahme des Fahrzeugs auf. Systemgrenzen werden erreicht,

- wenn sich das vorausfahrende Fahrzeug entfernt (z.B. wenn es beschleunigt, eine Ausfahrt nimmt oder die Spur wechselt).
- wenn sich die Wetterlage bzw. die Sichtbedingungen verschlechtern (z.B. bei Nebel).
- wenn keine erkennbare Fahrbahnmarkierung mehr vorhanden ist.
- wenn eine Baustelle durchfahren wird.
- wenn ein Warndreieck auf der Straße erkannt wird.



Falls oben genannte Grenzen erreicht werden, müssen Sie das Fahrzeug übernehmen. Nehmen Sie dann die Hände ans Lenkrad und fahren Sie selbst.

### *Ihre Fahrt*

Sie fahren heute etwa 35 Minuten auf der Autobahn in unterschiedlichen Verkehrssituationen. Sie sollten wann immer möglich mit aktiviertem Autobahn-Chauffeur hochautomatisiert fahren. Der Autobahn-Chauffeur ist jedoch nur ein Hilfsmittel. Sie als Fahrer stehen zu jeder Zeit in der Verantwortung und müssen in der Lage sein, das Fahrzeug bei einer Übernahmeaufforderung zu übernehmen.

Während der Fahrt wird in Ihrer Peripherie, am rechten Rand Ihres Sichtfeldes, ein schwarzes Rechteck dargestellt. In diesem wird Ihnen in unregelmäßigen Abständen ein weißer Punkt dargeboten.



Bitte bestätigen Sie diesen weißen Punkt per Druck auf den Taster, den wir Ihnen vor Beginn des Versuchs geben werden. Bestätigen Sie den Taster jedes Mal, sobald der Punkt dargeboten wird.

### *Zusammenfassung*

- Die Höchstgeschwindigkeit beträgt heute durchgehend 120 km/h.

- Bleiben Sie während der gesamten Fahrt auf der rechten Spur und überholen Sie nicht.
- Fahren Sie wann immer möglich mit aktiviertem Autobahn-Chauffeur.
- Bestätigen Sie den Taster, sobald der Punkt in Ihrer Peripherie dargeboten wird.

Sie haben während der gesamten Fahrt Sprechkontakt zu Ihrem/r Versuchsleiter/in. Sollten Sie sich während der Fahrt nicht wohl fühlen, zögern Sie bitte nicht Bescheid zu geben.

Wir wünschen Ihnen eine gute Fahrt!

## 1.C.2.Fragebögen

**Fragen – Mentale Modelle**

Wie beurteilen Sie das hochautomatisierte Fahrerassistenzsystem Autobahn-Chauffeur?

Wie würden Sie, anhand der Informationen, die Sie eben zum Autobahn-Chauffeur erhalten haben, folgende Aussagen einschätzen? Bitte beantworten Sie die Fragen und geben Sie anschließend eine Einschätzung darüber ab, wie sicher Sie sich bei der Antwort sind.

*Hinweis:* Die Beantwortung der Fragen stellt keinen Wissenstest dar und alle Fragen werden anonymisiert ausgewertet, d.h. die Antworten können nicht zu den jeweiligen Personen zugeordnet werden. Uns sollen die Fragen bei der Entwicklung von Bedienungs- und Gebrauchsanweisungen helfen.

Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Der Autobahn-Chauffeur lässt sich bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h und einem vorausfahrenden Fahrzeug in etwa 70 m Abstand einschalten.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Um den Autobahn-Chauffeur einzuschalten, sollten Fuß von Gas und Bremse genommen werden. Zusätzlich sollte nicht mehr aktiv gelenkt werden.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher

Stimmt	Stimmt nicht	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nach dem Einschalten benötigt der Autobahn-Chauffeur weiterhin einen Vorausfahrer.
Ganz sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stimmt	Stimmt nicht	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn-Chauffeur fährt mit einer Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h.
Ganz sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stimmt	Stimmt nicht	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Die Sichtbedingungen bzw. die Wetterlage sind für das Funktionieren des Autobahn-Chauffeurs unerheblich.
Ganz sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stimmt	Stimmt nicht	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ist das Fahrerassistenzsystem Autobahn-Chauffeur aktivierbar, so ist das Autobahn-Chauffeur-Symbol (ein großes ‚A‘ mit einem Auto) weiß.
Ganz sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stimmt	Stimmt nicht	



<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sie als Fahrer stehen zu jeder Zeit in der Verantwortung das Fahrzeug bei einer Übernahmeaufforderung übernehmen zu können.
Ganz sicher		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ist das Fahrerassistenzsystem Autobahn-Chauffeur aktivierbar, so ist das Autobahn-Chauffeur-Symbol (ein großes ‚A‘ mit einem Auto) grau.
Ganz sicher		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Um den Autobahn-Chauffeur einzuschalten, können Fuß auf Gas oder Bremse belassen werden und es darf ebenfalls gelenkt werden.
Ganz sicher		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Der Autobahn-Chauffeur lässt sich bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h und einem vorausfahrenden Fahrzeug in etwa 50 m Abstand einschalten.
Ganz sicher		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn-Chauffeur funktioniert auch in Baustellen ohne Einschränkungen.

Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn-Chauffeur kann Sie beim Erkennen eines Warndreiecks auf der Straße zur Übernahme auffordern.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zum Einschalten benötigt der Autobahn-Chauffeur ein vorausfahrendes Fahrzeug.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nach dem Einschalten funktioniert der Autobahn-Chauffeur auch ohne Vorausfahrer.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gute Sichtbedingungen bzw. gute Wetterlage sind Voraussetzungen für das Funktionieren des Autobahn-Chauffeurs.						
Ganz sicher		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher
Stimmt	Stimmt nicht							

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Fahrerassistenzsystem Autobahn-Chauffeur lässt sich auch ohne erkennbare Fahrbahnmarkierung einschalten.					
Ganz sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht sicher

## Fragen – Demographie

Alter \_\_\_\_\_ Jahre

Geschlecht  weiblich  männlich

Ist ihre Muttersprache deutsch?

Ja

Nein

Sind Sie Rechts- oder Linkshänder?

Ich bin vornehmlich Rechtshänder

Ich bin vornehmlich Linkshänder

Benötigen Sie zum Autofahren eine Brille oder Kontaktlinsen?

Ja  Brille  Kontaktlinsen

Nein

Wie häufig nutzen Sie folgende Assistenzsysteme im PKW?

(Privater PKW oder Dienstfahrzeug)

	Nie	1x pro- biert	1x pro Monat	1x pro Woche	Mehr- mals pro Woche
TEMPOMAT/ Geschwin- digkeitsregler	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISTRONIC/ Abstands- regeltempomat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISTRONIC PLUS/ Ab- standsregeltempomat mit Stop & Go	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

DISTRONIC PLUS Q/ Abstandsregeltempomat mit Stop & Go und Lenkunterstützung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
---	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

In welcher körperlichen Verfassung sind Sie im Moment?

- Ich befinde mich in meinem üblichen Fitness- & Gesundheitszustand.
- Ich bin derzeit in einer schlechteren Verfassung als üblich (z.B. Erkältung).

Bitte geben Sie auf einer Skala von 0 – 20 an, wie Sie sich zu diesem Zeitpunkt fühlen.

Der Wert „0“ bedeutet dabei, dass Sie keinerlei Beschwerden haben und es Ihnen sehr gut geht, während „20“ heißt, dass Sie sich extrem unwohl fühlen. Bei dieser Bewertung geht es in erster Linie um eine eventuelle Übelkeit.

Bitte Wert eintragen: \_\_\_\_\_

**Fragen – Akzeptanz** (Van Der Laan et al., 1997)

Bitte beurteilen Sie Fahrerassistenzsysteme anhand der Informationen, die Sie bisher haben. Setzen Sie bitte jeweils ein Kreuz pro Zeile. Es geht hier um Ihre persönliche Meinung, d.h. es gibt keine richtigen oder falschen Antworten.

Nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nutzlos
Angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unangenehm
Schlecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gut
Nett	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nervig
Effizient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnötig
Ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Erfreulich
Hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wertlos
Nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wünschenswert

## Fragen – Vertrauen ( Jian et al., 2000)

	Stimme gar nicht zu 1						Stimme voll zu 7
Ich kann dem System vertrauen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System ist irreführend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Aktionen des Systems sind un- durchsichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich misstrauere den Aktionen, Absichten oder Konsequenzen des Systems.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin dem System überwachsam.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin mit dem System vertraut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Aktionen des Systems führen u nachteiligen oder schädlichen Conse- quenzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich traue mir zu das System zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System ist glaubwürdig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann mich auf das System verlas- sen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System bietet Sicherheit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System ist zuverlässig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## References

- Amalberti, R., & Deblon, F. (1992). Cognitive modelling of fighter aircraft process control: a step towards an intelligent on-board assistance system. *International Journal of Man-Machine Studies*, 36(5), 639–671.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1). doi:10.18637/jss.v067.i01
- Beauducel, A., Strobel, A., & Brocke, B. (2003). Psychometrische Eigenschaften und Normen einer deutschsprachigen Fassung der Sensation Seeking-Skalen, Form V. *Diagnostica*,
- 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. doi: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. doi:10.1016/j.trf.2015.10.005
- Békésy, G. (1957). Neural volleys and the similarity between some sensations produced by tones and by skin vibrations. *The Journal of the Acoustical Society of America*, (29(10)), 1059–1069.
- Bengler, K., Kohlmann, M., & Lange, C. (2012). Assessment of cognitive workload of in-vehicle systems using a visual peripheral and tactile detection task setting. *Work (Reading, Mass.)*, 41 Suppl 1, 4919–4923. doi:10.3233/WOR-2012-0786-4919
- Bloemacher, K., Morys, Käfer, E., & Huff, M. (2015). Ökologisch valide Ablenkungen außerhalb des Fahrzeuges: Eine Simulatorstudie. In *Erster Kongress der Fachgruppe Verkehrspsychologie*. Braunschweig.
- Blömacher, K., Nöcker, G., & Huff, M. (2018). The role of system description for conditionally automated vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 54, 159–170. doi:10.1016/j.trf.2018.01.010
- Blömacher, K., Nöcker, G., & Huff, M. (2019). The evolution of mental models in relation to initial information while driving automated. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.11.003>
- Boer, E., & Hoedemaeker, M. (1998). Modeling driver behavior with different degrees of automation: A Hierarchical Decision Framework of interacting mental models.
- Boff, & Lincoln. (1988). User's Guide Engineering data compendium: Human perception and performance.
- Bolanowski, Gescheider, Verrillo, & Checosky. (1988). Four channels mediate the mechanical aspects of touch.
- Braess, H. H., & Donges, E. (2006). Technologien zur aktiven Sicherheit von Personenkraftwagen–„Konsumierbare“ oder echte Verbesserungen. *Tagung „Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz“*, TU München, Garching bei München, (4(5)).
- Brainbridge, L. (1993). Ironies of Automation.



- Breton, R., & Rousseau, R. (2001). Situational Awareness. A review of concept and its measurement. (Technical Report No. 2001-220), Valcartier: Defense Research and Development Canada.
- Broadbent, D. E. (1958). Perception and communication. *Pergamon Press*,
- Buld, S., Tietze, H., & Krüger, H. P. (2005). Auswirkungen von Teilautomation auf das Fahren. In Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung. *Springer, Berlin, Heidelberg*, pp. 161-187.
- Burns, P. C., Knabe, E., & Tevell, M. (2000). Driver behavioral adaptation to collision warning and avoidance information. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society... Annual Meeting*, (Vol. 3.), p. 315. Sage Publications Ltd.
- Cacilo, A., Schmidt, S., Wittlinger, P., Herrmann, F., Bauer, W., Sawade, O., . . . Scholz, V. (2015). Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen - Industriepolitische Schlussfolgerungen. *Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO*,
- Carroll, J. M., & Olson, J. R. (1987). *Mental Models in Human-computer Interaction: Research Issues About What the User of Software Knows*. Washington, D.C.: National academy Press.
- Chang, C.-C., Boyle, L. N., Lee, J. D., & Jenness, J. (2017). Using tactile detection response tasks to assess in-vehicle voice control interactions. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 51, 38–46.  
doi:10.1016/j.trf.2017.06.008
- Cohen, A. S., & Hirsing, R. (1991). The role of foveal vision in the process of information input. In: *Gale, A. G. et al. (Eds). Vision in Vehicles III.*, Amsterdam, North-Holland, 153-160.
- Collins, A., & Gentner, D. (1987). How people construct mental models. *Cultural models in language and thought*, 243, 243–265.
- Conti, Dlugosch, Vilimek, Keinath, & Bengler, K. (2012). An Assessment of cognitive workload using detection response tasks. *Advances in human factors and ergonomics series. Advances in human aspects of road and rail transportation*, 735–743.
- Conti, A. S., Dlugosch, C., Schwarz, F., & Bengler, K. (2013). Driving and Speaking: Revelations by the Head-Mounted Detection Response Task. *Driving Assessment Conference June 17-20*, 362–368. doi:10.17077/drivingassessment.1513
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature reviews. Neuroscience*, 3(3), 201–215.  
doi:10.1038/nrn755
- Craik, K. J. W. (1943). The nature of explanation. *Oxford, England: University Press, Macmillan*. Retrieved from  
<https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=wT04AAAAI-AAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=craik+1943+the+nature+of+explanation&ots=07xWSxfWx1&sig=wyAvNGCFu8h4wXr7OMJVsisib9wBA#v=onepage&q=if%20the%20organism&f=false>
- Cummings, M. L., & Ryan, J. C. (2014). Shared authority concerns in automated driving applications.
- Dekker, S., & Hollnagel, E. (2004). Human factors and folk models. *Cognition, Technology & Work*, 6(2), 79–86. doi:10.1007/s10111-003-0136-9
- Dekker, S. W., & Woods, D. D. (2002). MABA MABAor abracadabra?: Progress on human-automation coordination. *Cognition, Technology & Work*, (4(4)), 240–244.

- DeWaard, D. (1996). The measurement of drivers' mental workload.
- Diels, C. (2011). Tactile detection task as a real time cognitive workload measure.
- Dismukes, R. K., Berman, B. A., & Loukopoulos, L. (2007). *The limits of expertise: Rethinking pilot error and the causes of airline accidents*. England: Routledge.
- Dixon, S., Wickens, C. D., & McCarley, J. S. (2006). How Do Automation False Alarms and Misses Affect Operator Compliance and Reliance?: Sage CA: Los Angeles, CA: Sage Publications. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, (50(1)), 25–29.
- Donders. (1969). On the speed of mental processes.
- Donges, E. (1982a). Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *Automobil- Industrie*, (27), 183–190.
- Donges, E. (2009b). Fahrerverhaltensmodelle. In H. Winner, S. Hakuli, & G. Wolf (Eds.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (pp. 15–23). Wiesbaden: Vieweg+Teubner. Retrieved from [https://doi.org/10.1007/978-3-8348-9977-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-8348-9977-4_3)
- Durso, F. T., & Gronlund, S. D. (1999). Situation awareness. *Handbook of applied cognition*, 283–314.
- Durso, F. T., Hackworth, C. A., Truitt, T. R., Crutchfield, J., Nikolic, D., & Manning, C. A. (1998). Situation awareness as a predictor of performance for en route air traffic controllers. *Air Traffic Control Quarterly*, 6, (1), 1-20.
- Durso, F. T., & Sethumadhavan, A. (2008). Situation Awareness: Understanding Dynamic Environments. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(3), 442–448. doi:10.1518/001872008X288448
- Durso, F. T., Rawson, K. A., & Giroto, S. (2007). Comprehension and Situation Awareness. *Handbook of applied cognition*, 163–193.
- Dutke, S. (1994). Mentale Modelle beim Erinnern sprachlich beschriebener räumlicher Anordnungen: Zeitliche Aspekte der Modellkonstruktion und-nutzung. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 41, (4), 523–548.
- Edquist, J. (2009). The Effects of Visual Clutter on Driving Performance. *Thesis Monash University, Department of Psychology*.
- Egeth, H. E., & Yantis, S. (1997). Visual attention: Control, representation, and time course. *Annual review of psychology*, (48(1)), 269–297.
- Endsley, M. R. (1988a). Situation awareness global assessment technique (SAGAT). *Aerospace and Electronics Conference*, 789–795.
- Endsley, M. (2000). Pilot Situation Awareness Training in General Aviation.
- Endsley, M. R. (1995). Measurement of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, (37(1)), 65–84.
- Endsley, M. R. (1995b). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, (37), 32–64.
- Endsley, M. R. (2000c). Theoretical Underpinnings of situation awareness: A critical review. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation awareness: analysis and measurement*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates., pp. 3-32.
- Endsley, M. R. (2017d). Autonomous Driving Systems. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 155534341769519. doi:10.1177/1555343417695197

- Engström, J., Larsson, P., & Larsson, C. (2013). Comparison of static and driving simulator venues for the tactile detection response task.
- Engström, J., Johansson, E., & Östlund, J. (2005). Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(2), 97–120. doi:10.1016/j.trf.2005.04.012
- Eriksson, A., Banks, V. A., & Stanton, N. A. (2017). Transition to manual: Comparing simulator with on-road control transitions. *Accident; analysis and prevention*, 102, 227–234. doi:10.1016/j.aap.2017.03.011
- Firestone, C., & Scholl, B. J. (2016). Cognition does not affect perception: Evaluating the evidence for "top-down" effects. *The Behavioral and brain sciences*, 39, e229. doi:10.1017/S0140525X15000965
- Flach. (1995). Proceed with Caution. *Human Factors*, (37(1)), 149–157.
- Flemisch, F., Heesen, M., Hesse, T., Kelsch, J., Schiebein, A., & Beller, J. (2011). Towards a dynamic balance between humans and automation: authority, ability, responsibility and control in shared and cooperative control situations.
- Forbus, K. D. (1984). Qualitative process theory. *Artificial intelligence*, 24, (1-3), 85–168.
- Forster, Y., Hergeth, S., Naujoks, F., Beggiato, M., Krems, J. F., & Keinath, A. (2019). Learning and Development of Mental Models in Interaction with Driving Automation: A Simulator Study. In *Proceedings of the 10th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design* (pp. 24–27). Santa Fe, NM, USA.
- Forster, Y., Naujoks, F., & Neukum, A. (2017). Increasing anthropomorphism and trust in automated driving functions by adding speech output. In *2017 IEEE intelligent vehicles symposium (IV)* (pp. 365–372).
- Forster, Y., Hergeth, S., Naujoks, F., Krems, J., & Keinath, A. (2019). User Education in Automated Driving: Owner's Manual and Interactive Tutorial Support Mental Model Formation and Human-Automation Interaction. *Information*, 10(4), 143. doi:10.3390/info10040143
- Fox, J., & Weisberg, S. (2011). *An {R} Companion to Applied Regression*, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>.
- Fracker, M. L. (1988). A theory of situation assessment: Implications for measuring situation awareness. In *Proceedings of the human factors society 32nd annual meeting. Santa Monica, CA: Human Factors Society.*, (Vol. 1), pp. 102-106.
- Funke, J. (2019). Kognitive Psychologie. In M. A. Wirtz (Ed.), *Dorsch - Lexikon der Psychologie*. Retrieved from <https://portal.hogrefe.com/dorsch/gebiet/kognitive-psychologie/>
- Gasser, T. M., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Bürkle, L., Eier, J., . . . Schwarz, J., & Vogt, W. (2012). Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung: BE- RICHTE DER BUNDESANSTALT FUER STRASSENWESEN.
- Gentner, D. (Ed.). (2002). *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences. Mental models, Psychology of.* (pp. 9683-9687). Amsterdam: Elsevier Science.
- Gentner, D., & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner & Stevens, A., L. (Eds.), *Some observations on mental models.* (pp. 99–129). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Gentner, D., & Stevens, A. L. (Eds.). (1983). *Some observations on mental models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gescheider, G. A., Bolanowski, S. J., & Verrillo, R. T. (2004). Some characteristics of tactile channels. *Behavioural Brain Research*, *148*(1-2), 35–40. doi:10.1016/S0166-4328(03)00177-3
- Ghazizadeh, M., Lee, J. D., & Boyle, L. N. (2012). Extending the Technology Acceptance Model to assess automation. *Cognition, Technology & Work*, *14*(1), 39–49. doi:10.1007/s10111-011-0194-3
- Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L., & Bengler, K. (2013). “Take over!” How long does it take to get the driver back into the loop? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *57*(1), 1938–1942. doi:10.1177/1541931213571433
- Goldstein, E. B., & Irtel, H. (2007). *Wahrnehmungspsychologie - Der Grundkurs: Einführung in die Wahrnehmung*.
- Grandjean. (1979). *Fatigue in industry*.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modeling. *International journal of science education*, *22*, (1), 1–11.
- Guardian staff. (2014). *Google's driverless car: no steering wheel, two seats, 25mph: First of 100 test vehicles is unveiled with no steering wheel or pedals, two seats and a top speed of 25mph*. Retrieved from <https://www.theguardian.com/technology/2014/may/28/google-reveals-driverless-car-prototype>
- Halpert, R., & Hill, R. (2011). The Locus of Control Construct's Various Means of Measurement: A researcher's guide to some of the more commonly used Locus of Control scales.
- Hancock, P. A., & Verwey, W. B. (1997). Fatigue, Workload and adaptive driver systems. *Accident Analysis and Prevention*, (Vol. 29, No. 4), 495–506.
- Hanson, J., Whitaker, D., & Heron, J. (2009). Preferential processing of tactile events under conditions of divided attention. *Neuroreport*, *20*(15), 1392–1396. doi:10.1097/WNR.0b013e3283319e25.
- Harbluk, J. L., Burns, P. C., Tam, J., & Glazduri, V. (2013). Detection Response Tasks: Using Remote, Headmounted and Tactile Signals to Assess Cognitive Demand While Driving. *Driving Assessment Conference June 17-20*, 78–84. doi:10.17077/drivingassessment.1470
- Harms, L., & Patten, C. (2003). Peripheral detection as a measure of driver distraction. A study of memory-based versus system-based navigation in a built-up area. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *6*(1), 23–36. doi:10.1016/S1369-8478(02)00044-X
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *In Advances in psychology*, (Vol. 52), pp. 139-183, North-Holland.
- Hegarty, M., & Just, M. A. (1993). Constructing mental models of machines from text and diagrams. *Journal of memory and language*, (32(6)), 717–742.
- Heitz, R. P. (2014). The speed-accuracy tradeoff: history, physiology, methodology, and behavior. *Frontiers in neuroscience*, *8*, 150. doi:10.3389/fnins.2014.00150
- Helmholtz, H. (1867). *Handbuch der physiologischen Optik*. Retrieved from [https://books.google.de/books?id=wytZEE\\_ck0C&ots=Lzd2-9Zf8i&dq=Helmholtz%2C%201867&lr&hl=de&pg=PA1#v=onepage&q&f=false](https://books.google.de/books?id=wytZEE_ck0C&ots=Lzd2-9Zf8i&dq=Helmholtz%2C%201867&lr&hl=de&pg=PA1#v=onepage&q&f=false)

- Hergeth, S., Lorenz, L., Vilimek, R., & Krems, J. F. (2016). Keep your scanners peeled: Gaze behavior as a measure of automation trust during highly automated driving. *Human Factors*, 58(3), 509-519.
- Hergeth, S., Lorenz, L., & Krems, J. F. (2017). Prior Familiarization With Takeover Requests Affects Drivers' Takeover Performance and Automation Trust. *Human Factors*, 59(3), 457-470. doi:10.1177/0018720816678714
- Ho, C., & Spence, C. (2017). *The multisensory driver: Implications for ergonomic car interface design.*: CRC Press.
- Höger, R. (2001). The signal location task as a method quantifying the distribution of attention. In D. Harris (Ed.), *Engineering psychology and cognitive ergonomics* (Vol. V, pp. 429-439). Aldershot: Ashgate.
- Hsiao, S., & Yau, J. (2008). Neural basis of haptic perception. *Human haptic perception: Basics and applications*, 103-112. Birkhäuser Basel.
- Hsieh, L., Seaman, S., & Young, R. (2015). A Surrogate Test for Cognitive Demand: Tactile Detection Response Task (TDRT). *SAE Technical Paper 2015-01-1385*. doi:10.4271/2015-01-1385
- ISO 17488: 2016 (2016).
- Jahn, G., Oehme, A., Krems, J. F., & Gelau, C. (2005). Peripheral detection as a workload measure in driving: Effects of traffic complexity and route guidance system use in a driving study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(3), 255-275. doi:10.1016/j.trf.2005.04.009
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. Retrieved from <http://psychclassics.yorku.ca/James.Principles/prin4.htm>.
- Jarz, E. M. (2013). *Entwicklung multimedialer Systeme: Planung von Lern-und Masseninformationssystemen*: Springer-Verlag.
- Jenness, J. W., Lerner, N. D., Mazor, S., Osberg, J. S., & Tefft, B. C. (2008). Use of advanced In-Vehicle Technology by young and older early adopters. *Survey Results on Adaptive Cruise Control Systems*, (Report No. DOT HS, 810, 917).
- Jens Rasmussen. (1986). *Information Processing and Human-Machine Interaction: An approach to cognitive Engineering*.
- 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. doi:10.1207/S15327566IJCE0401\_04
- Johannsen, G. (1976). Nebenaufgaben als Beanspruchungsmeßverfahren in Fahrzeugführungsaufgaben. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, (30), 45-50.
- Johnson-Laird, P. N. (1983a). Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness. *Cambridge: Cambridge University*,
- Johnson-Laird, P. N. (2004b). The history of mental models. *Psychology of reasoning: Theoretical and historical perspectives*, (179).
- Johnson-Laird, P. N. (2013). Mental models and cognitive change. *Journal of Cognitive Psychology*, 25(2), 131-138. doi:10.1080/20445911.2012.759935
- Johnson-Laird, P. N. (2010). Mental models and human reasoning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(43), 18243-18250. doi:10.1073/pnas.1012933107
- Jones, D. G., & Endsley, M. R. (1996). Sources of situation awareness errors in aviation. *Aviation, space, and environmental medicine. Aviation Space Environment MD*, 67, (6), 507-512.

- Jones, D. G., & Kaber, D. B. Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods. In *Stanton, N., Hedge, A., Hendrick, H., Brookhuis, K., Salas, E. (Eds.)*. Retrieved from [https://books.google.de/books?id=Op5AD-wAAQBAJ&lpg=PT404&ots=xTSN\\_PWkM-&dq=Jones%20%26%20Kaber%2C%202004%20freeze%20probe&hl=de&pg=PT474#v=onepage&q=Jones%20%26%20Kaber,%202004%20freeze%20probe&f=false](https://books.google.de/books?id=Op5AD-wAAQBAJ&lpg=PT404&ots=xTSN_PWkM-&dq=Jones%20%26%20Kaber%2C%202004%20freeze%20probe&hl=de&pg=PT474#v=onepage&q=Jones%20%26%20Kaber,%202004%20freeze%20probe&f=false)
- Jones, L. A., & Sarter, N. B. (2008). Tactile displays: guidance for their design and application. *Human Factors*, 50(1), 90–111. doi:10.1518/001872008X250638.
- Jones, N., Ross, H., Lynam, T., Perez, P., & Leitch, A. (2011). Mental models: an interdisciplinary synthesis of theory and methods.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. *Attention and performance*, 187–203.
- Josef F. Krems, & Martin R.K. Baumann. Driving and Situation Awareness: A Cognitive Model of Memory-Update Processes.
- Josef F. Krems, & Martin R.K. Baumann. LNCS 5619 - Driving and Situation Awareness: A Cognitive Model of Memory-Update Processes.
- Kaber, D. B., & Endsley, M. R. (2004a). The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 5, (2), 113–153.
- Kaber, D. B., & Endsley, M. R. (2004b). The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 5(2), 113–153. doi:10.1080/1463922021000054335
- Kahneman, D. (2011). Thinking, fast and slow. *Macmillan*,
- Kahneman, D. (1973). Attention and Effort.
- Karrer, K., Glaser, C., Clemens, C., & Bruder, C. (2009). Technikaffinität erfassen-der Fragebogen TA-EG. *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme*, (8), 196–201.
- Kazi, T. A., Stanton, N. A., Young, M. S., & Harrison, D. A. (2005). Assessing drivers' level of trust in Adaptive Cruise Control and their conceptual models of the system: implications for system design. In *Driver behaviour and training* (pp. 132-142). Retrieved from <https://books.google.de/books?id=dzQrD-wAAQBAJ&lpg=PA133&ots=cllZOQaeZa&dq=kazi%20stanton%20young%20harrison%202005%20assessing%20drivers'%20level%20of%20trust%20in%20adaptive%20cruise%20control%20and%20their%20conceptual%20models&hl=de&pg=PA133#v=onepage&q&f=false>
- Kieras, D. E., & Susan Bovair. (1984). The role of a mental model in learning to operate a device. *Cognitive science*, (8(3)), 255–273.
- Klein, G. A. (1989). *Recognition-primed decisions*: National Emergency Training Center.
- Knauff, M. (2013). Space to reason: A spatial theory of human thought. *MIT Press*. Retrieved from [https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=jFiKMP07ADMC&oi=fnd&pg=PR7&dq=knauff+2013&ots=Xqc\\_KXKccQ&sig=jQfvNeC-LonfLEU37-f6ON0-rvk#v=onepage&q=knauff%202013&f=false](https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=jFiKMP07ADMC&oi=fnd&pg=PR7&dq=knauff+2013&ots=Xqc_KXKccQ&sig=jQfvNeC-LonfLEU37-f6ON0-rvk#v=onepage&q=knauff%202013&f=false)
- Knauff, M. (2019). Mentales Modell. In M. A. Wirtz (Ed.), *Dorsch - Lexikon der Psychologie*. Retrieved from <https://m.portal.hogrefe.com/dorsch/mentales-modell/>

- König, M., & Neumayr, L. (2017). Users' resistance towards radical innovations: The case of the self-driving car. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 44, 42–52. doi:10.1016/j.trf.2016.10.013
- Krause, M., Conti, A., Späth, M., & Bengler, K. Testing Open-Source Implementations for Detection Response Tasks. In *González, Ordóñez et al. (Hg.) – the XV International Conference, 2014* (pp. 1–4).
- Krems, J. F., & Vollrath, M. (2011). *Verkehrspsychologie: Ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker*. Kohlhammer Verlag.
- Krems, J. F., & Baumann, M. R. (2009). Driving and Situation Awareness: A Cognitive Model of Memory-Update Processes. *International Conference on Human Centered Design*, 986–994.
- Lamme, V. A. (2000). Neural Mechanisms of Visual Awareness: A Linking Proposition. *Brain and Mind*, (1(3)), 385–406.
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and learning: A model-centered approach*. New York, NY: Springer.
- Larsson, A. F. (2012). Driver usage and understanding of adaptive cruise control. *Applied ergonomics*, 43(3), 501–506. doi:10.1016/j.apergo.2011.08.005
- Lee, J. D., & See, K. A. (2004). Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance. *Human Factors*, (46(1)), 50–80.
- Leiner, D. J. (2019). SoSci Survey (Version 3.1.06). Retrieved from <https://www.soscisurvey.de>
- Luce, R. D. (1986). Response times: Their role in inferring elementary mental organization (No. 8). *Oxford University Press on Demand*. Retrieved from <https://books.google.de/books?id=6yvncwAAQBAJ&lpg=PR9&ots=pZ53dJNv-2&dq=luce%201986&lr&hl=de&pg=PR9#v=onepage&q=luce%201986&f=false>
- Madhavan, P., & Wiegmann, D. (2005). Effects of Information Source, Pedigree, and Reliability on Operators' Utilization of Diagnostic Advice.
- Madigan, R., Louw, T., Wilbrink, M., Schieben, A., & Merat, N. (2017). What influences the decision to use automated public transport? Using UTAUT to understand public acceptance of automated road transport systems. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 50, 55–64. doi:10.1016/j.trf.2017.07.007
- Martens, M. H., & van Winsum, W. (2000). Measuring distraction: the peripheral detection task. *TNO Human Factors, Soesterberg, Netherlands*,
- Mather, G. (2011). *Essentials of sensation and perception*. East Sussex: Routledge.
- Matthews, G., Zeidner, M., & Roberts, R. D. (2004). *Emotional Intelligence: Science and Myth*.
- Matthews, M. D., & Beal, S. A. (2002). Assessing situation awareness in field training exercises. *Military Academy West Point NY Office of Military Psychology and Leadership*.
- Mehlenbacher, B., Wogalter, M. S., & Laughery, K. R. (2002). On the reading of product owner's manuals: Perceptions and product complexity: In. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, (Vol. 45, No. 6), 730–734.
- Merat, N., & Jamson, A. H. (2008). The effect of stimulus modality on signal detection: Implications for assessing the safety of in-vehicle technology. *Human Factors*, 50, (1), 145-158.

- Merat, N., Jamson, A. H., Lai, Frank C H, & Carsten, O. (2012). Highly automated driving, secondary task performance, and driver state. *Human Factors*, 54(5), 762–771. doi:10.1177/0018720812442087
- Merat, N., Jamson, H., Lai, C. F., Daly, M., & Carsten, M. O. (2014). Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle. *Transportation Research Part F*,
- Moray, & Inagaki. (2000). Adaptive automation, trust and self-confidence in fault management of time-critical tasks.
- Moray, N. (1999). Mental models in theory and practice. *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application*, 223–258.
- Moser, K. S. (2003). Mentale Modelle und ihre Bedeutung. *Schriften zur Symbolforschung, Schriftenreihe der Schweizerischen Gesellschaft für Symbolforschung*, 13, 181–205.
- Müsseler, J., & Rieger, M. (2017). *Allgemeine Psychologie*. (Müsseler, J., & Rieger, M., Eds.).
- Najm, W., Stearns, M., Howarth, H., Koopmann, J., & Hitz, J. S. (2006). *Evaluation of an automotive rear-end collision avoidance system*, (No. FHWA-JPO-06-055), United States. National Highway Traffic Safety Administration.
- Ng, A. W., & Chan, A. H. (2012). Finger response times to visual, auditory and tactile modality stimuli. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, (Vol II IMECS), 1449–1454.
- Norman. (1983). Mental Models. In D. Gentner & Stevens, A., L. (Eds.), *Some observations on mental models*. (pp. 7–14). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Norman, D. A., & Borrow, D. G. (1975). On Data-limited and Resource-limited Processes. *Cognitive Psychology*, (7), 44–64.
- O'Donnell, R. D., & Eggemeier, F. T. (1986). Handbook of Perception and Human Performance: Cognitive Processes and Human Performance, edited by Boff, KR, et al.
- Olsson, & Burns. (2000). Measuring driver visual distraction with a peripheral detection task. *Obtained from August*,
- Parasuraman, R., & Caggiano, D. (2002). Mental workload.
- Parasuraman, R., Hancock, P. A., & Olofinboba, O. (1997). Alarm effectiveness in driver-centred collision-warning systems. *Ergonomics*, (40(3)), 390–399.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2008). Situation Awareness, Mental Workload, and Trust in Automation: Viable, Empirically Supported Cognitive Engineering Constructs. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2(2), 140–160. doi:10.1518/155534308X284417
- Payre, W., Cestac, J., Dang, N.-T., Vienne, F., & Delhomme, P. (2017). Impact of training and in-vehicle task performance on manual control recovery in an automated car. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 216–227. doi:10.1016/j.trf.2017.02.001
- Pew, R. W. (1979). Secondary tasks and workload measurement. *In Mental Workload*, pp. 23-28. Springer, Boston, MA.
- Policy, F. A. V. (2016). Accelerating the Next Revolution in Roadway Safety. *NHTSA, US Dept. Transportation.*,



- Pradhan, A. K., Pollatsek, A., Knodler, M., & Fisher, D. L. (2009). Can younger drivers be trained to scan for information that will reduce their risk in roadway traffic scenarios that are hard to identify as hazardous? *Ergonomics*, *52*(6), 657–673. doi:10.1080/00140130802550232
- Purves, D., Augustine, G., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S., & White, L. E. (2001). *The somatic sensory cortex*.
- Rajaonah, B., Anceaux, F., & Vienne, F. (2006). Trust and the use of adaptive cruise control: a study of a cut-in situation. *Cognition, Technology & Work*, *8*(2), 146–155. doi:10.1007/s10111-006-0030-3
- Rajaonah, B., Tricot, N., Anceaux, F., & Millot, P. (2008). The role of intervening variables in driver–ACC cooperation. *International Journal of Human-Computer Studies*, *66*(3), 185–197. doi:10.1016/j.ijhcs.2007.09.002
- Rammstedt, B., & John, O. P. (2007). Measuring personality in one minute or less: A 10-item short version of the Big Five Inventory in English and German. *Journal of Research in Personality*, *41*(1), 203–212. doi:10.1016/j.jrp.2006.02.001
- Rammstedt, B., Kemper, C., Klein, M., Beierlein, C., & Kovaleva, A. (2013). Eine kurze Skala zur Messung der fünf Dimensionen der Persönlichkeit: 10 Item Big Five Inventory (BFI-10).
- Ranney, T. A., Baldwin, G. H., Parmer, E., Domeyer, J., Martin, J., & Mazzae, E. N. (2011). Developing a test to measure distraction potential of in-vehicle information system tasks in production vehicles. (No. HS-811 463).
- Ranney, T. A., Baldwin, G. H., Parmer, E., Martin, J., & Mazzae, E. N. (2011). Distraction effects of manual number and text entry while driving. (No. HS-811 510).
- Ranney, T. A., Baldwin, G. H., Smith, L. A., Mazzae, E. N., & Pierce, R. S. (2014a). Detection response task (DRT) evaluation for driver distraction measurement application. (No. DOT HS 812 077).
- Ranney, T. A., Baldwin, G. H., Smith, L. A., Mazzae, E. N., & Pierce, R. S. (2014b). Detection Response Task (DRT) Evaluation for driver distraction measurement application. *Report No. DOT HS 812 077*. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.,
- Ranney, T. A., Mazzae, E. N., Baldwin, G. H., & Salaani, M. K. (2007). Characteristics of voice-based interfaces for in-vehicle systems and their effects on driving performance. (No. HS-810 867).
- Rasmussen, J. (1987). Mental models and the control of actions in complex environments. *Rise-M*, No. 2656.
- Rasmussen, J. (1990). Mental models and the control of action in complex environments. In D. Ackermann & Tauber, M.,J. (Eds.), *Mental Models and Human-Computer Interactions* . vol 1. Amsterdam: North-Holland.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules, and Knowledge; Sognals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models.
- Richardson, N. (2019). *How do mental models in highly automated driving systems evolve with time? An approach for a long-term driving simulator study*. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/331206632\\_How\\_do\\_mental\\_models\\_in\\_highly\\_automated\\_driving\\_systems\\_evolve\\_with\\_time\\_An\\_approach\\_for\\_a\\_long-term\\_driving\\_simulator\\_study](https://www.researchgate.net/publication/331206632_How_do_mental_models_in_highly_automated_driving_systems_evolve_with_time_An_approach_for_a_long-term_driving_simulator_study)
- Rickheit, G., & Habel, C. (Eds.). (1999). *Advances in psychology 128. Mental Models in discourse processing and reasoning (pp. 9-40)*. Amsterdam, Netherlands: North-Holland/Elsevier Science Publishers.

- SAE International. (2014). Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems (Ground Vehicle Standard J3016). *Warrendale: SAE International.*
- Saffarian, M., de Winter, J. C. F., & Happee, R. (2012). Automated Driving: Human-Factors Issues and Design Solutions. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56(1), 2296–2300.  
doi:10.1177/1071181312561483
- Sanders, A. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta psychologica*, (53 (1)), 61-97.
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological review*, 84(1), 1.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen: Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinehim: Beltz.
- Schwartz, D. L., & Black, J. B. (1996). Analog imagery in mental model reasoning: Depictive models. *Cognitive Psychology*, 30, (2), 154–219.
- Seel, N. M. (1999). Educational diagnosis of mental models: Assessment problems and technology-based solutions. *Journal of Structural Learning & Intelligent Systems.*
- Seel, N. M. (2003). Model-centered learning and instruction. *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 1, (1), 59–85.
- Seppelt, B. D., & Lee, J. D. (2007). Making adaptive cruise control (ACC) limits visible. *International Journal of Human-Computer Studies*, 65(3), 192–205.  
doi:10.1016/j.ijhcs.2006.10.001
- Sheridan, T. B., & Verplank, W. L. (1987). Human and computer control of undersea teleoperators.
- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological review*, 84(2), 127.
- Simmel, E. C., & Shelton, R. (1987). The assessment of nonroutine situations by pilots: a two-part process. *Aviation, space, and environmental medicine*, 58(11), 1119–1121.
- Sivak, M. (1996). The information that drivers use: is it indeed 90% visual? *Perception*, (25(9)), 1081–1089.
- Spence, C., & Ho, C. (2008). Tactile and Multisensory Spatial Warning Signals for Drivers. *IEEE transactions on haptics*, 1(2), 121–129. doi:10.1109/ToH.2008.14.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine modelltheorie*. Berlin: Springer.
- Stanton, N. A., & Young, M. S. (2005). Driver behaviour with adaptive cruise control. *Ergonomics*, 48, (10), 1294–1313.
- Steven E. Underwood. (2015). *Integrated Assessment for Automated Driving Systems in the United States*. Cham: Springer.
- Talarico, J., & Rubin, D. C. (2003). Confidence, not consistency, characterizes flashbulb memories. *Psychological Science*, 14(5), 455–461.
- Taylor, R. M. (2017). Situational awareness rating technique (SART): The development of a tool for aircrew systems design. In *Situational Awareness*. *Routledge.*, pp. 111-128.

- Thompson, C. (2017). Retrieved February 24th, 2018, from <http://www.businessinsider.de/details-about-the-fatal-tesla-autopilot-accident-released-2017-6?r=US&IR=T>.
- Treisman, A. (1964). Selective attention in man. *British Medical Bulletin*, (20), 12–16.
- Trösterer, S., Meschtscherjakov, A., Mirnig, A. G., Lupp, A., Gärtner, M., McGee, F., . . . Engel, T. What We Can Learn from Pilots for Handovers and (De)Skilling in Semi-Autonomous Driving (2017). In S. Boll, B. Pfleging, I. Politis, D. Large, & B. Domnez (Eds.), *the 9th International Conference* (pp. 173–182).
- U.S. Air Force. (2015). Autonomous horizons. *Washington, DC*; U.S. Air Force Office of the Chief Scientist.
- van der Horst, A. R. A., & Martens, M. H. (2010). The Peripheral Detection Task (PDT): On-line measurement of driver cognitive workload and selective attention. In G. L. Rupp (Ed.) *Performance metrics for assessing driver distraction: The quest for improved road safety. Warrendale: SAE International.*, (pp. 73 - 89).
- Van Der Laan, Heino, A., & DeWaard, D. (1997). A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. *Transportation research. Part C, Emerging technologies*, (5(1)), 1–10.
- Van Dijk, T. A., & Kintsch, W. (1983). Strategies of discourse comprehension.
- Verwey, W. B. (2000). On-line driver workload estimation. Effects of road situation and age on secondary task measures. (43(2)), 187-209.
- Victor, T. W., Tivesten, E., Gustavsson, P., Johansson, J., Sangberg, F., & Ljung Aust, M. (2018). Automation Expectation Mismatch: Incorrect Prediction Despite Eyes on Threat and Hands on Wheel. *Human Factors*, 60(8), 1095–1116. doi:10.1177/0018720818788164
- Vosgerau, G. (2006). The perceptual nature of mental models. In *Advances in Psychology 138* (pp. 255–275). North-Holland.
- Warm, J., Matthews, G., & Finomore, V. (2008). Vigilance, workload, and stress. In Hancock, P., A. & Szalma, J., L. (Eds.), *Performance under stress* (pp. 115–141). Brookfield, VT: Ashgate.
- Wickens, C. D. (1984). *Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Hrsg.). Varieties of attention.*: (S. 63-102). New York: Academic Press.
- Wickens, C. D. (1996a). Situation awareness: impact of automation and display technology. Situation awareness: limitations and enhancement in the aviation environment, k2-1 - k2-13.
- Wickens, C. D. (2002b). Multiple resources and performance prediction.
- Wickens, C. D. (2008). Multiple Resources and Mental Workload. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(3), 449–455. doi:10.1518/001872008X288394
- Wickens, C. D., & Hollands, J. G. (2000). WickensHollands-EngineeringPsych-Ch3: Signal Detection, Information Theory, and Absolute Judgment. *Engineering psychology and human performance*, (2), 24–73.
- Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2015). *Engineering psychology and human performance*: Psychology Press.
- Wickens, C. D. (2002c). Situation Awareness and Workload in Aviation. *Current Directions in Psychological Science*, 11(4), 128–133. doi:10.1111/1467-8721.00184

- Wickens, C. D., Goh, J., Helleberg, J., Horrey, W. J., & Talleur, D. A. (2003). Attentional models of multitask pilot performance using advanced display technology. *Human Factors, 45*(3), 360–380. doi:10.1518/hfes.45.3.360.27250
- Wierwille, W., Tijerina, L., Kiger, S., Rockwell, T., Lauber, E., & Bittner, A. (1996). Heavy Vehicle Driver Workload Assessment, Task 4: Review of Workload and Related Research, Final Report Supplement. (No. DOT HS-808 467). *United States. Joint Program Office for Intelligent Transportation Systems.*,
- Yerkes, & Dodson. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation.
- Young, M. S., Brookhuis, K. A., Wickens, C. D., & Hancock, P. A. (2015). State of science: Mental workload in ergonomics. *(58*(1)), 1–17.
- Young, R. A., Hsieh, L., & Seaman, S. (2013). The Tactile Detection Response Task: Preliminary Validation for Measuring the Attentional Effects of Cognitive Load. *Driving Assessment Conference June 17-20, 71–77*. doi:10.17077/drivingassessment.1469
- Zuckerman, M., Eysenck, S. B., & Eysenck, H. J. (1978). Sensation seeking in England and America: cross-cultural, age, and sex comparisons. *Journal of consulting and clinical psychology, (46*(1)), 139.

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Katja Blömacher, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche wissentlich verwendeten Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Katja Blömacher

Böblingen, den 22.07.2019