

FAT-Schriftenreihe 324

Methodische Aspekte und aktuelle inhaltliche Schwerpunkte bei der Konzeption experimenteller Studien zum hochautomatisierten Fahren



Methodische Aspekte und aktuelle inhaltliche Schwerpunkte bei der Konzeption experimenteller Studien zum hochautomatisierten Fahren

Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften GmbH

Autoren:

Dr. Nadja Schömig

Dennis Befelein

Katharina Wiedemann

Alexandra Neukum

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

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	5
2	Zielsetzung	7
3	Methodische Aspekte - Module der Studienkonzeption.....	9
3.1	Modul 1: Stichprobe.....	10
3.1.1	Stichprobengröße.....	10
3.1.1.1	Stand der Literatur	10
3.1.1.2	Empfehlung.....	11
3.1.2	Alter und Geschlecht	11
3.1.2.1	Stand der Literatur	11
3.1.2.2	Empfehlung.....	12
3.1.3	Vorerfahrung mit bestimmten Systemen.....	12
3.1.3.1	Stand der Literatur	12
3.1.3.2	Empfehlung.....	13
3.1.4	Probandengruppe.....	13
3.1.4.1	Stand der Literatur	13
3.1.4.2	Empfehlung.....	14
3.2	Modul 2: Simulatorenausstattung	14
3.2.1	Stand der Literatur.....	14
3.2.2	Empfehlung	14
3.3	Modul 3: Instruktion und Eingewöhnung.....	15
3.3.1	Stand der Literatur.....	15
3.3.2	Empfehlung	16
3.4	Modul 4: Streckencharakteristika	17
3.4.1	Stand der Literatur.....	17
3.4.2	Empfehlung	17
3.5	Modul 5: Systemgestaltung	18
3.5.1	Stand der Literatur.....	18
3.5.2	Empfehlung	18
3.6	Modul 6: Mensch-Maschine-Schnittstelle	19
3.6.1	Stand der Literatur.....	19
3.6.2	Empfehlung	20
3.7	Modul 7: Fahrerzustand.....	21
3.7.1	Stand der Literatur.....	21

3.7.2	Empfehlung	22
3.8	Modul 8: Fahrfremde Tätigkeiten	22
3.8.1	Stand der Literatur	23
3.8.2	Empfehlung	23
3.9	Modul 9: Prüfzenario	24
3.9.1	Untersuchung der Übernahmefähigkeit.....	24
3.9.1.1	Stand der Literatur	25
3.9.1.2	Empfehlung.....	26
3.9.2	Fokus auf Erleben des Fahrens mit aktivem System.....	27
3.9.2.1	Stand der Literatur	27
3.9.2.2	Empfehlung.....	28
3.10	Modul 10: Abhängige Variablen.....	28
3.10.1	Maße der Übernahmeleistung	28
3.10.1.1	Stand der Literatur	29
3.10.1.2	Empfehlung.....	30
3.10.2	Maße zur Bewertung des automatisierten Systems	30
3.10.2.1	Stand der Literatur	31
3.10.2.2	Empfehlung.....	31
3.11	Übersicht Standardausprägung der Module	31
4	Inhaltliche Schwerpunkte	36
4.1	Übernahmefähigkeit an Systemgrenzen.....	36
4.1.1	Welches Zeitbudget benötigt der Fahrer für eine sichere Übernahme in Abhängigkeit verschiedener fahrfremder Tätigkeiten?	36
4.1.1.1	Stand der Literatur	37
4.1.1.2	Empfehlung.....	38
4.1.1.3	Relevante Modulvariationen.....	39
4.1.2	Wie sollte eine Übernahmeaufforderung gestaltet sein, damit der Fahrer an Systemgrenzen sicher und komfortabel übernehmen kann?	39
4.1.2.1	Stand der Literatur	40
4.1.2.2	Empfehlung.....	41
4.1.2.3	Relevante Modulvariationen.....	41
4.1.3	Wie reagieren müde Fahrer auf Übernahmeaufforderungen?	42
4.1.3.1	Stand der Literatur	42
4.1.3.2	Empfehlung.....	43
4.1.3.3	Relevante Modulvariationen.....	44
4.2	System-Erleben.....	46
4.2.1	Welchen Fahrstil sollte ein automatisiertes Fahrzeug aufweisen?	46
4.2.1.1	Stand der Literatur	46

4.2.1.2	Empfehlung.....	47
4.2.1.3	Relevante Modulvariationen.....	47
4.2.2	Wie kann Mode Confusion des Fahrers in Systemen mit mehreren Automatisierungsstufen verhindert werden?.....	48
4.2.2.1	Stand der Literatur	48
4.2.2.2	Empfehlung.....	49
4.2.2.3	Relevante Modulvariationen.....	50
4.2.3	Wie wirkt sich automatisiertes Fahren auf Fahrverhalten und Fahrqualität während manueller Fahrt aus?.....	50
4.2.3.1	Stand der Literatur	51
4.2.3.2	Empfehlung.....	51
4.2.3.3	Relevante Modulvariationen.....	51
5	Fazit	53
6	Literatur	54

1 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über aktuelle Fragestellungen und relevante methodische Aspekte bei der Konzeption experimenteller Studien zum hochautomatisierten Fahren (nach SAE-Automationsstufe 3). Hierzu wurden 569 relevante Publikationen aus den Jahren 1998 bis 2019 analysiert. Der Inhalt des Berichts kann als Leitfaden zur Konzeption von experimentellen Studien dienen, wobei die Durchführung im Fahrsimulator im Vordergrund steht. Der Bericht ist in zwei Teile gegliedert. Im ersten Teil werden elementare methodische Bausteine der Studienplanung (sog. Module) beschrieben, die je nach Fragestellung einer Untersuchung spezifiziert werden müssen (z.B. die Wahl der Stichprobe und einer geeigneten fahrfremden Tätigkeit, die Gestaltung von Instruktion, Strecke, System und Prüfscenarien sowie die zu analysierenden abhängigen Variablen). Dabei wird für jedes Modul zunächst der Stand der Literatur zusammengefasst. Im Anschluss wird eine Empfehlung für die Ausgestaltung von Standarduntersuchungen gegeben, bei denen das jeweilige Modul nicht im Fokus der Untersuchung steht und deshalb beispielsweise nicht als unabhängige Variable variiert wird. Im zweiten Teil der Arbeit werden auf derselben empirischen Basis exemplarisch aktuelle Fragestellungen zum Thema automatisiertes Fahren aufgegriffen und die dafür zu beachtenden methodischen Aspekte beschrieben. Die Befunde werden zwei grundlegenden Untersuchungsgegenständen zugeordnet: Der erste Abschnitt konzentriert sich auf die Übernahmefähigkeit des Fahrers an Systemgrenzen. Er beschreibt zusammenfassend die methodischen Erkenntnisse zur Untersuchung des erforderlichen Zeitbudgets bei der Übernahme und der Reaktion müder Fahrer auf Übernahmeaufforderungen sowie zur Gestaltung von Übernahmeaufforderungen. Der zweite Abschnitt beschäftigt sich mit dem System-Erleben bei längerfristigem Fahren in L3. Er skizziert die methodische Befundlage zur Analyse des Fahrstils des automatisierten Fahrzeugs, der Mode Awareness des Fahrers sowie der längerfristigen Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die Fahrleistung beim manuellen Fahren.

The report at hand gives an overview of current research issues and relevant methodical aspects concerning the conceptualization of experimental studies on highly automated driving (according to SAE automation level 3). For that purpose, 569 relevant publications from 1998 to 2019 were analyzed. The content of the report may serve as a guideline for the conceptualization of experimental studies with an emphasis on the conduction in a simulator environment. The report is separated into two parts. Part one describes elementary methodical components of study design (so called modules) that have to be specified depending on the scientific issue (e.g., the selection of the sample, a suitable non-driving-related task, the design of instructions, driving course, system and test scenarios and the dependent variables). For each module, the report summarizes the current state of literature, followed by a module design recommendation for standard investigations in which the respective module is not the main focus and therefore not, for example, varied itself as an independent variable. On the same empirical basis, the second part of the report exemplarily presents current research issues regarding highly automated driving and describes the related methodical aspects that have to be taken into account. The findings are grouped along two basic objects of investigation: The first section focuses on driver take-over ability at system boundaries. It collectively describes the available evidence on the investigation of required take-over time budgets and take-over reactions of drowsy/sleepy drivers, as well as the design of take-over requests. The second section deals with system perception during longer-term L3 driving. It outlines the methodical state of evidence regarding the analysis of the automated vehicle's driving style, driver mode awareness, as well as long-term impacts of automated driving on manual driving performance.

2 Zielsetzung

Der vorliegende Bericht entstand im Rahmen einer Beauftragung des Würzburger Instituts für Verkehrswissenschaften (WIVW GmbH) durch den Arbeitskreis 2 der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT).

Grundlage der Darstellungen ist eine im Rahmen des Projekts erstellte Literaturdatenbank zum Themengebiet Human Factors beim automatisierten Fahren ab Level 2. Diese enthält zum Zeitpunkt der Berichtserstellung (September 2019) 569 relevante Publikationen aus den Jahren 1998 bis 2019. Die Struktur der Datenbank beruht auf einer Kategorisierungssystematik, die auf Basis der vorliegenden Literatur und in enger Abstimmung mit den Experten des FAT-Arbeitskreises erstellt wurde. Als Quellen wurden einschlägige Journals (z. B. Transportation Research Part F, Accident Analysis and Prevention, Human Factors), Konferenzen und Tagungen (z. B. AHFE; HCI) sowie öffentlich geförderte nationale und internationale Projekte (AdaptIVe, Ko-HAF, etc.) herangezogen und systematisch nach Human-Factors-bezogenen Fragestellungen für automatisierte Systeme ab Level 2 durchsucht und von geschulten Mitarbeitern des WIVW nach den entwickelten Kategorien katalogisiert.

Der Bericht hat zum einen zum Ziel, **methodische Aspekte** aufzugreifen und zu diskutieren, die bei der Bewertung der Fahrsicherheit von automatisierten Systemen ab SAE-Automationsstufe 2 (Klassifikation der Automatisierungsstufen gemäß SAE, 2016) zu berücksichtigen sind. Der Schwerpunkt wird dabei auf das hochautomatisierte Fahren in Level 3 gelegt. Die methodisch orientierte Darstellung (Kapitel 3) soll Anwendern als Leitfaden zur Studienkonzeption dienen und bezieht sich dabei in erster Linie auf Empfehlungen für die Durchführung experimenteller Studien im Fahrsimulator¹. Beschrieben werden sogenannte Module, worunter elementare methodische Bausteine der Studienkonzeption verstanden werden, die für unterschiedliche Fragestellungen spezifiziert und miteinander kombiniert werden müssen (z. B. die Art der Verkehrsumgebung; das Automationslevel, mit dem gefahren werden soll; der Fahrerzustand, in den der Proband gebracht werden muss).

Des Weiteren wurde die umfassende Literatursammlung als empirische Basis für eine systematische Zusammenfassung aktueller **inhaltlicher Fragestellungen** zum Thema automatisiertes Fahren herangezogen. Identifiziert wurden zwei grundlegend relevante Untersuchungsgegenstände: zum einen das Übernahmeverhalten beim hochautomatisierten Fahren (Kapitel 4.1) und zum zweiten Aspekte des System-Erlebens beim längerfristigen Fahren in L3 (Kapitel 4.2): Zusammenfassend dargestellt werden die methodischen Erkenntnisse zu den Themen Fahrstil des automatisierten

¹ Unter den Veröffentlichungen zu L2+-Studien finden sich größtenteils experimentelle Simulatorstudien (412 der 569 gelisteten Publikationen, d. h. 72 % der in der Datenbank verzeichneten relevanten Publikationen; 23% davon zu L2-Systemen, 72% zu L3-Systemen). Im experimentellen Setting lassen sich die unabhängigen Variablen gezielt variieren, und mögliche Störgrößen können umfassend kontrolliert werden, sodass die größte Belastbarkeit der Ergebnisse im Vergleich zu anderen Untersuchungsformen (z. B. Einzelfallanalysen) anzunehmen ist. Gemäß Datenbank fanden mehr als 84 % dieser Studien (344 der 412) in der Simulationsumgebung statt, u. a. da sich im Simulator auch kritische Fahrsituationen systematisch und gefahrlos untersuchen lassen.

Fahrzeugs, Mode Confusion und Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die Fahrqualität bei manueller Fahrt.

3 Methodische Aspekte - Module der Studienkonzeption

Als Grundlage der Konzeption experimenteller Studien für das automatisierte Fahren wird im Folgenden eine modulare Gerüststruktur dargestellt. Die Module stellen dabei die Rahmenbedingungen dar, die für die Konzeption einer experimentellen Studie notwendig sind und enthalten die wichtigsten methodischen Überlegungen, die bei einem Studienaufbau berücksichtigt werden müssen. Die Module können verschiedene Ausprägungen enthalten, die miteinander kombiniert werden müssen, um eine bestimmte Fragestellung beantworten zu können.

Zunächst wird eine Übersicht über die wichtigsten Module gegeben. Sie decken sich an vielen Stellen mit der Kategorisierungssystematik der Literaturdatenbank. Die möglichen Modulvariationen sind aus den Unterkategorien, die in der Literaturdatenbank zur Systematisierung der Literatur verwendet wurden, abgeleitet.

Tabelle 1: Auswahl der wichtigsten zu treffenden methodischen Entscheidungen im Rahmen der Planung von L3-Studien.

Modul		Zu treffende Entscheidungen
01: Stichprobe		Wie viele und welche Probanden (bzgl. Alter, Geschlecht, Fahrerfahrung, Vorerfahrung mit Assistenz/automatisierten Systemen, weitere Auswahlkriterien)?
02: Simulatorenausstattung		Welche technischen Voraussetzungen muss der Simulator erfüllen?
03: Instruktion und Eingewöhnung		Wie müssen die Probanden instruiert werden? Welches Vorwissen sollen sie haben, wenn sie mit dem System interagieren?
04: Streckencharakteristika		Auf welchem Streckentyp soll die Studie stattfinden?
05: Systemgestaltung		Welche Eigenschaften soll das automatisierte System haben?
06: Mensch-Maschine-Schnittstelle		Welches Standard-HMI (engl. Human-Machine-Interface, kurz HMI) soll in der Studie verwendet werden?
07: Fahrerzustand		In welchem Zustand soll ein Fahrer für diese Art von Studie sein?
08: Fahrfremde Tätigkeiten		Soll sich der Fahrer mit nicht-fahrtbezogenen Tätigkeiten beschäftigen und wenn ja, mit welchen?
09: Prüf-szenario	Für Studien zur Übernahme-situation	Wie soll das Übernahmeszenario gestaltet sein, anhand dessen man die Übernahmefähigkeit eines Fahrers beurteilt?
	Für Studien zum Erleben des aktiven Systems	Welche Szenarien müssen berücksichtigt werden? Wie lange soll der Fahrer das aktive System erleben?
10: Abhängige Variablen	Als Maße der Übernahmeleistung	Welche Maße sollen für die Bewertung der Übernahmeleistung erfasst werden?
	Sonstige Maße der Systembewertung	Welche Maße können zur Bewertung des Systems bzw. der Mensch-Maschine-Schnittstelle genutzt werden?

Ziel ist es dabei, vor dem Hintergrund der einschlägigen Literatur und des Erfahrungsschatzes der Autoren eine Expertenempfehlung für eine Standardausprägung der Module zu geben, die als Basis

einer Versuchsanordnung für eine Vielzahl von experimentellen Studien herangezogen werden kann. Häufig sind die Ausprägungen von der Fragestellung abhängig. Deswegen werden im Anschluss sinnvolle Modulvariationen (d. h. Abwandlungen dieser Basisvariante durch eine unterschiedliche Zusammensetzung der Modulausprägungen) für die Beantwortung ausgewählter Forschungsfragen präsentiert.

Sowohl bei der Beschreibung der einzelnen Module als auch bei der Abhandlung der Forschungsfragen folgt die vorliegende Methode der folgenden Struktur: Zunächst werden das Modul und die dazugehörigen methodischen Fragen beschrieben, anschließend wird der aktuelle Stand der relevanten Literatur zusammengefasst wiedergegeben und letztlich wird auf Basis der Literatur eine Expertenempfehlung zur Ausprägung des jeweiligen Moduls gegeben. Tabelle 1 stellt die im Rahmen der Modulausprägungen zu treffenden methodischen Entscheidungen dar.

3.1 Modul 1: Stichprobe

Eine erste methodische Überlegung bei der Planung experimenteller Studien ist die Wahl der geeigneten Stichprobe für die jeweilige Fragestellung. Darunter fällt die Größe der Stichprobe sowie die Auswahl bezüglich bestimmter Merkmale wie Alter, Geschlecht, Vorerfahrung mit assistierten und automatisierten Systemen oder weiteren Besonderheiten. Die Art der Stichprobe kann bei der Interpretation der Studienergebnisse eine wichtige Rolle spielen.

3.1.1 Stichprobengröße

3.1.1.1 Stand der Literatur

Bei der Wahl der geeigneten Stichprobengröße besteht oft ein Zielkonflikt aus ausreichend großen Probandenzahlen für hinreichende Zellbesetzungen im Versuchsdesign zur Durchführung aussagekräftiger statistischer Analysen und somit wissenschaftlicher Aussagekraft einerseits und der Begrenzung von Untersuchungsaufwand und Kosten andererseits. Die statistisch erforderliche Stichprobengröße hängt davon ab, wie groß der zu erwartende Effekt der Manipulation ist (z. B. ein Mittelwertsunterschied) und welche statistische Power angestrebt wird (Tabachnick, Fidell & Ullman, 2007). Im vorliegenden Forschungsfeld hat sich eine Zellbesetzung von mindestens 6, besser 10 oder mehr validen Datensätzen bewährt. Bei einem 2 x 2 x 2-between-Design (z. B. mit den Faktoren Übernahmeszenario, fahrfremde Tätigkeit und HMI-Variante) wären dadurch bereits mindestens 48 Probanden erforderlich. Allgemein kann die erforderliche Probandenzahl durch Verwendung eines within-Designs verringert werden. Im Beispiel könnten die Probanden beide HMI-Varianten – unter der Berücksichtigung von Reihenfolgeeffekten – nacheinander erleben.

Für eine normative Bewertung von HMIs oder Systemen (d. h. kann ein HMI/System aufgrund eines definierten absoluten Kriteriums als akzeptabel für die Nutzung definiert werden?) finden sich in der Literatur folgende Empfehlungen für die notwendige Stichprobengröße: Die National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA, 2013) empfiehlt 24 Probanden für die Bewertung der Ablenkungswirkung von visuell-manuellen In-Vehicle Information Systems (IVIS). Von diesen

müssen dann 85 % ein definiertes Kriterium erfüllen (d. h. $n = 21$ Fahrer), um das System als akzeptabel für die Nutzung während der Fahrt definieren zu können. Gemäß dem RESPONSE 3 Code of Practice für die Gestaltung und Bewertung von Fahrassistenzsystemen müssen für Kontrollierbarkeitsfragestellungen mindestens 20 valide Datensätze erhoben werden (Knapp, Neumann, Brockmann, Walz & Winkle, 2009). Von diesen müssen dann alle 20 Fahrer ein bestimmtes Kriterium erfüllen, damit das System den Test besteht.

3.1.1.2 Empfehlung

Auf Basis langjähriger Erfahrung im diesem Forschungsbereich wird hier eine minimale Zellenbesetzung von $n = 12$ pro experimenteller Versuchsbedingung für Vergleichsstudien als Empfehlung vorgeschlagen bzw. eine minimale Stichprobengröße von $n = 20$ für normative Fragestellungen.

3.1.2 Alter und Geschlecht

3.1.2.1 Stand der Literatur

Nur $n = 10$ aller in der Datenbank gelisteten Studien berücksichtigten den Faktor Geschlecht in ihren Fragestellungen explizit. Schwarz & Brown (2019) stellten fest, dass der Zusammenhang zwischen der Entwicklung von Vertrauen in das System und dessen Effekte auf das Überwachungsverhalten in der Gruppe der älteren Frauen stärker ausgeprägt ist. Russell, Blanco, Atwood, Schaudt, Fitchett & Tidwell (2018) berücksichtigten in einer Naturalistic-Driving-Studie zur Nutzung von L2-automatisiertem Fahren u. a. das Geschlecht als Kovariate und konnten keinen Zusammenhang zwischen der Nutzung des Systems und der Beschäftigung mit fahrfremden Tätigkeiten feststellen, ebenso wenig wie mit dem Auftreten sicherheitskritischer Ereignisse. Berghöfer, Purucker, Naujoks, Wiedemann & Marberger (2018) konnten in einer Regressionsanalyse keinen signifikanten Einfluss des Geschlechts auf Übernahmezeiten bei L3-automatisiertem Fahren in einer Wizard-of-Oz-Studie feststellen. Schwarz, Brown, Gaspar & Keum (2017) gruppierten Fahrer entsprechend der Entwicklung ihres empfundenen Komforts beim Fahren mit Automation. Das Geschlecht spielte dabei keine bedeutsame Rolle.

Auch in Bezug auf das Alter berichteten mehr als 90 % der registrierten Publikationen zum automatisierten Fahren keine gezielte Probandenauswahl anhand bestimmter Altersgruppen. Die wenigen Studien zum hochautomatisierten Fahren, die sich damit befassten, untersuchten in der Regel die Übernahmeleistung unterschiedlicher Altersgruppen (z. B. Clark & Feng, 2016; Clark, McLaughlin, Williams & Feng, 2017; Molnar, Pradhan, Eby, Ryan, St. Louis et al., 2017). Weitere Aspekte sind der berichtete Workload in der Interaktion mit dem System, der bei älteren Fahrern erhöht ist (z. B. Molnar et al., 2017) oder das Vertrauen in automatisierte Systeme, das in der Gruppe der älteren Fahrer höher ist als in der Gruppe der jüngeren Fahrer (Feldhütter, Hecht & Bengler, 2018; Gold, Happee & Bengler, 2018).

3.1.2.2 Empfehlung

Für Untersuchungen mit Schwerpunkt auf der Übernahmeleistung erscheint es nicht notwendig, die Stichprobe gezielt nach Geschlecht auszuwählen. Da eventuell in anderen Maßen wie z. B. Einstellungen zum automatisierten Fahren oder den bevorzugten Ausgestaltungen Unterschiede zwischen den Geschlechtern denkbar sind (z. B. Abraham, Lee, Brady, Fitzgerald, Mehler, Reimer & Coughlin, 2016; Ward, Raue, Lee, D'Ambrosio & Coughlin, 2017), wird generell ein ausgeglichenes Geschlechterverhältnis empfohlen.

Da zu erwarten ist, dass alle Altersgruppen und eventuell sogar gerade die „jüngeren“ Alten zwischen 60 und 70 Jahren automatisiertes Fahren nutzen werden (Frison, Aigner, Wintersberger & Riener, 2018), empfiehlt sich für die meisten Fragestellungen eine möglichst heterogene Altersverteilung. Sinnvoll ist hier eine Orientierung an den Vorgaben der NHTSA für Studien zur Ablenkungsbewertung von IVIS, die eine Gleichverteilung der folgenden Altersgruppen in der Stichprobe vorschlägt: 18-24 Jahre, 25-39 Jahre, 40-54 Jahre und 55 Jahre oder älter (NHTSA, 2013). Wenn ein Versuchsplaner speziell an den Leistungen oder Einstellungen jüngerer bzw. älterer Fahrer interessiert ist, weil das zu testende System beispielsweise für eine dieser Zielgruppen entwickelt wurde, kann es sinnvoll sein, sich auf diese Altersgruppe zu beschränken bzw. einen gezielten Vergleich bestimmter Altersgruppen vorzunehmen.

3.1.3 Vorerfahrung mit bestimmten Systemen

3.1.3.1 Stand der Literatur

Die Vorerfahrung der Probanden mit den zu untersuchenden Systemen wird in der Literatur ebenfalls selten thematisiert (27 der 569 Studien; weniger als 5 % der gelisteten Publikationen). Bei der Untersuchung stellt sich allerdings heraus, dass es durchaus systematische Unterschiede zwischen Probanden mit unterschiedlichen System-Vorerfahrungen gibt.

So stellten Naujoks, Purucker & Neukum (2016) in einer Realfahrtstudie fest, dass Fahrer, die Vorerfahrung mit ACC-Systemen hatten, in den assistierten Fahrten (L1 und L2) häufiger mit einer Nebenaufgabe interagierten als Fahrer ohne derartige Erfahrung. Berghöfer et al. (2018) fanden in einer Wizard-of-Oz-Studie heraus, dass die Vorerfahrung mit ACC-Systemen neben der Blickabwendung von der Fahraufgabe und der Leistung in einer einfachen Reaktionszeitaufgabe ein signifikanter Prädiktor für die Übernahmezeit an Systemgrenzen bei L3-automatisiertem Fahren ist. Auch Larsson, Kircher & Hultgren (2014) fanden heraus, dass Fahrer mit ACC-Erfahrung im automatisierten Fahren schneller auf ein Einscherer-Szenario reagierten als ACC-Novizen (in Bezug auf die Bremsreaktionszeit).

Die Autoren der letztgenannten Studie schlussfolgern daraus, dass Fahrer mit Erfahrung mit Systemen zur Unterstützung der Längsführung lernen, wie das System funktioniert und kommuniziert. Sie lernen dabei nicht nur die Systemgrenzen kennen, sondern reagieren auch besser auf potenzielle Gefahren. Daher empfehlen die Autoren bei der Untersuchung neuer Systeme eher Fahrer mit Vorerfahrung zu untersuchen, wenn diese verfügbar sind. Auch Winner, Hakuli & Wolf (2009) geben zu bedenken, dass zur Bewertung der Usability und Nutzung eines Systems zu berücksichtigen ist,

dass in den meisten Fällen, in denen Fahrer mit wirklich seltenen, kritischen Situationen konfrontiert werden, diese bereits mit dem Assistenzsystem vertraut sind. Problematisch ist allerdings, dass auch in der Gruppe der Systemerfahrenen die Erfahrung sehr unterschiedlich ausfallen kann.

3.1.3.2 Empfehlung

Die Ableitung einer allgemeingültigen Empfehlung bezüglich der Vorerfahrung der Fahrer ist schwierig. Zumindest in Studien mit Schwerpunkt auf der intuitiven Bedienbarkeit automatisierter Systeme sollten möglichst Fahrer ohne Vorerfahrung mit Assistenzsystemen oder automatisierten Systemen untersucht werden. In Studien mit anderen Fragestellungen sollte die Vorerfahrung zumindest miteinbezogen werden. Bei einer entsprechenden Fragestellung sollte ein Vergleich entsprechender Extremgruppen erfolgen.

3.1.4 Probandengruppe

3.1.4.1 Stand der Literatur

In den allermeisten Fällen werden Versuchsteilnehmer aus der Normalbevölkerung rekrutiert. Die Literaturdatenbank weist für diese Information keine gesonderte Kategorie auf, weshalb keine konkreten Zahlen zum Ursprung der Probandengruppe vorliegen. Die Studienteilnehmer werden häufig aus einem bestehenden Testfahrerpanel ausgewählt. Dies bietet den Vorteil, dass wesentliche Informationen, die für die Auswahl der Stichprobe eine Rolle spielen, bereits vorhanden sind (z. B. Alter, Geschlecht, Fahrerfahrung, Vorerfahrung mit anderen Systemen, Teilnahme an anderen Studien, gesundheitliche Beeinträchtigungen). Die Suche nach „neuen“ Probanden aus der Bevölkerung erfordert ausreichenden zeitlichen Vorlauf, z. B. für das Schalten von Zeitungsannoncen einschließlich der Verarbeitung des Rücklaufs sowie der Klärung von Formalitäten bei Erstteilnehmern.

In größeren Konzernen wird für Untersuchungen häufig auf eigene Mitarbeiter zurückgegriffen. Problematisch daran ist, dass dabei die Wahrscheinlichkeit für sozial erwünschtes Verhalten besonders hoch ist. Zudem ist davon auszugehen, dass viele Mitarbeiter bereits über Vorerfahrung mit derartigen Systemen verfügen, was zumindest für Usability-Fragestellungen eher ungünstig ist. Darüber hinaus identifizieren sich viele Mitarbeiter mit den Produkten ihres Konzerns und können deshalb voreingenommen sein, was die Ergebnisse ebenfalls verzerren kann. Generell sollten die Teilnehmer eines Versuchs keinerlei Interesse daran haben, dass das jeweilige zu testende System im Versuch besonders gut oder schlecht abschneidet (NHTSA, 2013).

Darüber hinaus kann es bei speziellen Fragestellungen sinnvoll sein, den Teilnehmerkreis einer Studie auf tatsächliche oder potenzielle Kunden eines Produkts zu beschränken, die sogenannte Zielgruppe. Bei der Untersuchung von Premiumprodukten kann diese sich beispielsweise in Alter oder Kaufkraft vom Durchschnitt der Bevölkerung unterscheiden.

3.1.4.2 Empfehlung

Generell ist eine Rekrutierung von Probanden, die in keiner Verbindung mit dem Hersteller der zu testenden Funktion stehen, der Rekrutierung von Mitarbeitern vorzuziehen. Dabei sollte die Teilnehmergruppe zunächst nicht auf eine bestimmte Zielgruppe für ein Produkt beschränkt werden. Wenn eine Mitarbeiterrekrutierung nicht vermeidbar ist, sollten Mitarbeiter aus anderen als den an der Entwicklung des Systems beteiligten Abteilungen gewählt werden. Weiterhin ist ein nicht-technischer Hintergrund zu bevorzugen (z. B. aus der Verwaltung oder Personalabteilung).

3.2 Modul 2: Simulatorenausstattung

3.2.1 Stand der Literatur

Soll eine experimentelle Studie in der Fahrsimulation stattfinden, muss bei der Versuchsplanung die Entscheidung zwischen statischer und dynamischer Fahrsimulation getroffen werden. Rund die Hälfte aller in der Datenbank gelisteten Simulationsstudien fand im statischen Fahrsimulator statt. In rund 30 % der experimentellen L3-Studien, die sich mit Übernahmesituationen befassen, wurde ein Bewegungssystem eingesetzt. Eine Bewegungsrückmeldung erscheint insbesondere für Kritikalitätsbewertungen in Übernahmesituationen, Komfortbewertungen automatisierter Fahrsysteme sowie Motion-Sickness-Fragestellungen erforderlich. Borojeni, Boll, Heuten, Bühlhoff & Chuang (2018) plädieren gar dafür, Untersuchungen mit Übernahmesituationen immer mit Bewegungssystem durchzuführen und unterstreichen den Einfluss von Bewegungsrückmeldung auf zahlreiche subjektive und objektive Übernahmekriterien. Für Fragestellungen, bei denen eine adäquate Bewegungsrückmeldung von untergeordneter Bedeutung ist (z. B. wenn es hauptsächlich um die Bewertung einer visuell-akustischen Mensch-Maschine-Interaktion geht), kann der statische Fahrsimulator ausreichend sein.

3.2.2 Empfehlung

An dieser Stelle wird daher empfohlen, Untersuchungen zum automatisierten Fahren in einem dynamischen Fahrsimulator durchzuführen, falls die Möglichkeit dazu besteht. Falls dies nicht möglich ist, erscheint der statische Simulator allerdings für viele Fragestellungen ausreichend, sofern er die nachfolgend definierten technischen Voraussetzungen erfüllt.

In Bezug auf die Implementierung der automatisierten Fahrfunktion muss die Simulation in der Lage sein, die relevanten Zustände des zu testenden Systems abzubilden – einschließlich der Übergänge zwischen diesen Zuständen. Dies muss eine automatisierte Quer- und Längsregulation umfassen, die sowohl einen definierten Abstand (optional: einen vom Fahrer einstellbaren Abstand) als auch eine gewisse Set Speed hält (optional: eine vom Fahrer einstellbare Geschwindigkeit) und dem Fahrer zusätzlich Unterstützung in der Querführung bietet (wobei die Ausgestaltung dieser beispielsweise bezüglich Spurmittenzentrierung im Vorfeld konfigurierbar sein sollte).

Außerdem muss das System in der Lage sein, auf Fahrereingaben zu reagieren. Dies beinhaltet das fahrerinitiierte Aktivieren des Systems oder das Hin- und Herschalten zwischen Systemzuständen

über ein entsprechendes Bedienelement sowie die Übernahme der Fahrzeugkontrolle durch den Fahrer sowohl durch das Bedienelement als auch durch Übersteuern des Lenkrads oder Bremsen. Zudem müssen die Systemzustände sowie der fahrer- oder systeminitiierte Wechsel zwischen Systemzuständen (z. B. die Übernahmeaufforderung an L3-Systemgrenzen) durch die Mensch-Maschine-Schnittstelle rückgemeldet werden. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) umfasst dabei das Anzeigeconcept, d. h. ein Display im Kombiinstrument und gegebenenfalls weitere Anzeigeelemente, wie Displays in der Mittelkonsole, die zusätzliche Informationen des automatisierten Systems darstellen, Head-Up-Displays oder visuelle Rückmeldungen des Systemzustands über Lenkrad- oder Ambiente-Beleuchtung. Neben der visuellen Modalität gehören zum MMS auch akustische Rückmeldungen, wie Töne oder Sprachausgaben, und haptische Signalgeber wie beispielsweise Sitzvibration oder aktives Gaspedal.

Für die Fragestellung des automatisierten Fahrens, vor allem auf Automationsstufe 2, ist eine Hands-On-Erkennung oder eine Art von Driver Monitoring erforderlich. Bei Systemen, welche erfordern, dass der Fahrer die Hände am Lenkrad belässt, kann dadurch gegebenenfalls eine Hands-Off-Warnung ausgegeben werden, falls der Fahrer der Anforderung nicht nachkommt. Für die Erfassung des Blickverhaltens, zum Beispiel zur Bewertung eines adäquaten Überwachungsverhaltens, wie es für L2-Systeme gefordert ist, ist zudem ein Blickerfassungssystem zu implementieren, mittels dessen die Blickverteilung des Fahrers erfasst und analysiert werden kann. Für die Beobachtung des Fahrers während der Fahrt, z. B. bei Bedienaktivitäten oder der Interaktion mit fahrfremden Tätigkeiten, sollte der Versuchsleiter über eine Möglichkeit zur Mitschau auf die Strecke und den Fahrer verfügen. Dies ermöglicht es zudem, an bestimmten Streckenstellen oder beim Erreichen bestimmter Fahrerzustände (z. B. Ablenkung, Müdigkeit) flexibel Systemausgaben (Signale, Ansagen, Manöver) zu initiieren, oder das Fahrzeug in bestimmte Automationsstufen zu versetzen.

3.3 Modul 3: Instruktion und Eingewöhnung

Gezielte Untersuchungen zum Einfluss der Instruktion zeigen deutlich, dass die Menge an Vorinformationen über das System den Aufbau eines mentalen Modells, Erwartungen über das Systemverhalten und die Entwicklung von Systemvertrauen beeinflusst. Deswegen muss vor der Durchführung einer Studie entschieden werden, wie ausführlich die Probanden über die Funktionsweise des Systems, die möglichen Systemzustände und die Systembedienung instruiert werden sollen bzw. ob sie das System in einer Eingewöhnungsfahrt vor der eigentlichen Testfahrt erleben sollen.

3.3.1 Stand der Literatur

Beggiato & Krems (2013) fanden heraus, dass nur die Hälfte aller Fahrer, die ACC-Systeme nutzen, die Bedienungsanleitung gelesen haben und sich der Grenzen dieses Systems nur unzureichend bewusst sind. Als Folge dieser unvollständigen Instruktion über die Systemgrenzen reduzieren sich zunehmend das Vertrauen und die Akzeptanz dieser Systeme über die Zeit. Skitka et al. (2000; aus Hergeth et al., 2017) stellten fest, dass das wirkliche Erleben von Automationsfehlern effektiver für die Vermeidung von Erstkontaktfehlern ist als die reine Information darüber. Ebenso

berichteten Koustanai et al. (2010; aus Hergeth et al., 2017), dass das vorherige Erleben von kritischen Use Cases die Interaktion mit einem Forward-Collision-Warning-System effektiver und sicherer machte. Diese Verbesserungen waren umso größer, wenn Fahrer die kritischen Situationen auch erlebten und nicht nur darüber lasen.

Fehlinformationen über ein System haben demgegenüber gravierende negative Effekte. So stellten Blömacher, Nöcker & Huff (2018) fest, dass inkorrekte Instruktionen über L3-Fahrzeuge zu einem inkorrekten mentalen Modell und damit zu einem falschen Verständnis und unzutreffenden Erwartungen über das Systemverhalten in spezifischen Situationen führten.

Die Studie von Hergeth, Lorenz & Krems (2017) ergab, dass ein vorheriges Erleben einer Übernahmesituation vor allem positive Effekte auf den Erstkontakt mit dem System im Versuch hatte (und weniger auf die darauffolgenden Situationen). In allen Gruppen stieg das Systemvertrauen an, nachdem die Probanden das System erlebt hatten, wobei die Gruppe ohne vorherige Eingewöhnung in Übernahmesituationen sowohl vor als auch nach dem Erleben des Systems das höchste Systemvertrauen hatte.

Bewusst reduzierte Instruktionen werden dann eingesetzt, wenn überprüft werden soll, ob ein System bzw. ein entsprechendes Anzeigekonzept intuitiv verständlich ist. Bei einem solchen Vorgehen beschreibt der Versuchsleiter nur grob den Funktionsumfang des Fahrzeugs und lässt den Probanden dann selbst explorieren, wie sich das System verhält. Kerschbaum, Lorenz & Bengler (2014) setzten das Vorgehen beispielsweise bei der Untersuchung eines entkoppelten Lenkrades ein. Körber, Prasch & Bengler (2018) setzten darüber hinaus reduzierte Instruktionen ein, um die Erwartungen der Fahrer in Übernahmesituationen zu erfassen.

3.3.2 Empfehlung

Die überwiegende Zahl empirischer Studien beschäftigt sich mit dem Einfluss verschiedener Faktoren auf Aspekte der Übernahmeleistung, beispielsweise dem Einfluss einer fahrfremden Tätigkeit (FFT), der HMI-Gestaltung oder Variablen der Übernahmesituation. Häufig findet dabei eine Wiederholungsmessung statt, in der diese Einflussfaktoren aktiv variiert werden. Um zu vermeiden, dass es in diesem Fall zu Lerneffekten kommt, die sich in einer unterschiedlichen Reaktion auf den Erstkontakt vs. die Wiederholungsmessung zeigen, empfiehlt sich bei derartigen Untersuchungen eine ausführliche Instruktion über die Funktionalität des Systems und dessen Grenzen. Darüber hinaus ist eine Eingewöhnungsfahrt zu empfehlen, in der die Probanden eine Übernahmeaufforderung erleben und das adäquate Verhalten darauf ausprobieren können.

Demgegenüber sind reduzierte Instruktionen und das bewusste Weglassen einer Eingewöhnungsfahrt dann zu bevorzugen, wenn besonders der Erstkontakt mit bestimmten Systemen oder Situationen von Interesse ist und das intuitive Systemverständnis erfasst werden soll, wie beispielsweise in Usability-Studien (siehe Naujoks, Hergeth, Wiedemann, Schömig, Forster & Keinath, 2019).

Zur Eingewöhnung des Fahrers im weiteren Sinn gehört auch die Simulatoreingewöhnung. Es ist unbedingt zu empfehlen, den Fahrern die Gelegenheit zu geben, sich mit dem Fahrverhalten des Simulators vertraut zu machen. Optimale Ergebnisse können nur durch ein ausgiebiges Simulatortraining erzielt werden. Durch ein mindestens 2.5-stündiges Simulatortraining lassen sich neben

einer Erhöhung der Fahrsicherheit auch Übungseffekte während der Fahrten und Simulatorübelkeit abmildern (Buld, Krüger, Hoffmann & Totzke, 2003).

3.4 Modul 4: Streckencharakteristika

Mittels der Fahrsimulationssoftware können Szenarien auf der Autobahn, der Landstraße oder in der Innenstadt realisiert und untersucht werden. Die Frage, welcher Straßentyp für eine Studie gewählt werden soll, richtet sich in erster Linie danach, für welche ODD (Operational Design Domain, NHTSA policy, 2016; Update von 2017), d. h. für welchen Nutzungsbereich die Systeme ausgelegt sind. So sind Systeme auf SAE-Level 2 und 3 in der Regel für das Fahren auf Autobahnen bzw. Straßen mit baulich getrennten Fahrtrichtungen vorgesehen.

3.4.1 Stand der Literatur

Nachdem der Schwerpunkt der meisten Studien aktuell auf der Untersuchung von Level-2 (140 der gelisteten Publikationen, d. h. 25 %) und Level-3-Systemen (404 der gelisteten Publikationen; d. h. 70 %) liegt, fanden die meisten experimentellen Studien in einer Autobahnumgebung statt (69 % der in der Datenbank gelisteten Studien, die Aussagen zur Verkehrsumgebung machen).

3.4.2 Empfehlung

Es wird empfohlen, Standarduntersuchungen zum automatisierten Fahren in einer Autobahnumgebung durchzuführen. Dabei reicht eine Autobahn mit je zwei Streifen pro Fahrtrichtung in der Regel aus. Sollen komplexere Fahrsituationen wie beispielsweise Spurwechselszenarien über mehrere Fahrspuren untersucht werden, müssen drei Streifen gewählt werden.

Als Fahrbahnbreite sind 3,75 m zu empfehlen. Dies entspricht den Vorgaben in der RAA (Richtlinie zur Anlage von Autobahnen, 2008). Für die Breite der Seitenstreifen sind dort 2,5 m vorgegeben. Zwischen den Bahnen empfiehlt sich ein Grünstreifen, auf dem sich Leitplanken befinden. Eine generelle Beschilderung ist in den meisten Fällen nicht notwendig. Schilder zur Begrenzung der Geschwindigkeit sind sinnvoll, wenn der Fahrer die Set Speed für das System einstellen soll. Die Vorgabe der Geschwindigkeit kann jedoch auch über die Instruktion erfolgen. Typischerweise beträgt die in Versuchen gefahrene Geschwindigkeit zwischen 100 oder 120 km/h. Darüber hinaus können spezifische Prüfzenarien (z. B. Baustellen, siehe Kapitel 3.9) eine spezielle Beschilderung erfordern. Die Bebauung sollte reduziert sein, um den Fahrer nicht von der eigentlichen Fahraufgabe abzulenken. Es empfehlen sich Wiesen, Felder oder eine geringe Bepflanzungsdichte mit Bäumen. Die Strecke selbst sollte eher wenig kurvig sein und Radien mit einem Minimum von 800 m nicht unterschreiten. Wenn man bestimmte Ereignisse auf der Strecke wie beispielsweise ein Pannenfahrzeug, auf das reagiert werden muss, verdecken will, um die Situation für den Fahrer weniger vorhersehbar zu machen, kann dies durch die Verwendung von Kuppen oder Kurven in Verbindung mit dichter Bewaldung geschehen. Gleichzeitig muss berücksichtigt werden, dass diese Streckenbesonderheiten auch die Erwartbarkeit der Prüfsituation erhöhen können, weshalb die Bebauung in diesen Fällen über die Versuchsstrecke hinweg stärker variieren sollte. Auf den ent-

gegenkommenden Fahrbahnen und den Nachbarspuren sollte eine geringe Verkehrsdichte herrschen, um ein realitätsnahes Fahren zu vermitteln. In besonderen Fahrsituationen, z. B. Übernahme-situationen, sollte der Verkehr stark kontrolliert werden können, um vergleichbare Bedingungen für alle Probanden sicherzustellen (entweder sollte dort gar kein Verkehr herrschen oder einzelne, gezielt positionierte Fahrzeuge sollten vorhanden sein, um beispielsweise einen Überholvorgang zu erschweren). Wenn für die Beantwortung der Fragestellung relevant ist, dass der Fahrer den vollen Systemumfang erlebt, sollte gelegentlich ein Vorderfahrzeug präsent sein, wodurch der Fahrer das Regulieren der Geschwindigkeit an ein Vorderfahrzeug und das Abstandhalten erlebt.

3.5 Modul 5: Systemgestaltung

Unter dem Sammelbegriff der Fahrstrategie werden in der Datenbank verschiedene Merkmale zusammengefasst, die das Verhalten des automatisierten Fahrsystems kennzeichnen. Hierzu zählt z. B. die technische Leistungsfähigkeit des Systems (z. B. Güte der Spurhaltung), die Systemzuverlässigkeit (z. B. die Anzahl der Abwürfe bei L2-Systemen bzw. Häufigkeit von Übernahmeaufforderungen bei L3-Systemen), der Fahrstil (z. B. offensiv vs. defensiv), der Umgang mit Fahrerinterventionen (d. h. wie das System beispielsweise mit Brems- oder Lenkeingriffen des Fahrers umgeht; manche Systeme lassen sich durch leichte Lenkeingriffe oder Betätigung des Fahrpedals übersteuern, während andere Systeme dies nicht zulassen und dadurch aktiviert werden) oder die Frage, wie sich das System im Falle ausbleibender Fahrerreaktionen verhält (sogenannte Manöver zur Risikominimierung; Minimum-Risk-Manöver).

3.5.1 Stand der Literatur

Für Standarduntersuchungen, welche sich nicht speziell mit den Auswirkungen verschiedener Fahrstrategien befassen, werden in der Literatur zum hochautomatisierten Fahren Systeme mit guter technischer Leistungsfähigkeit, hoher Systemzuverlässigkeit und defensivem Fahrstil eingesetzt. Fahrerinterventionen führen meist zur Deaktivierung der Automation, oder es ist zumindest eine Übersteuerung der Automation möglich. Die in den Studien verwendeten Systeme unterscheiden sich häufig in ihrem Systemverhalten bei Ausbleiben einer erforderlichen Fahrerreaktion nach einer Übernahmeaufforderung. Es gibt Systeme, bei denen die Längs- und Querführung mit Ausgabe der Übernahmeaufforderung abgeschaltet wird. Häufig wird die Längs- und/oder Querregelung aber noch über einen gewissen Zeitraum aufrechterhalten. Manche Systeme verzögern das Fahrzeug anschließend in den Stillstand. Vollwertige Manöver zur Risikominimierung, wie beispielsweise ein Anhalten auf dem Standstreifen, spielen in der Literatur kaum eine Rolle.

3.5.2 Empfehlung

Für Studien, die sich nicht explizit mit Fragestellungen zur Fahrstrategie beschäftigen, wird daher empfohlen, das System derart zu gestalten, dass die Querführung spurmittenzentriert ausgelegt ist. Damit Übernahmeszenarien als besondere, kritische Situationen wahrgenommen werden, sollte die Systemzuverlässigkeit während der restlichen Fahrt hoch sein. Die Übersteuerung oder Deaktivie-

rung des Systems durch den Fahrer über das Bedienelement, Lenken und Bremsen sollte zu jedem Zeitpunkt möglich sein. Solange es nicht explizit Gegenstand der Fragestellung ist, müssen spezielle Systemfunktionen wie beispielsweise eine automatisierte Spurwechselfunktion oder die automatische Anpassung an Geschwindigkeitsbegrenzungen nicht implementiert werden. Auch ein vollwertiges Minimum-Risk-Manöver beim Ausbleiben einer Fahrerreaktion muss nicht zwingend implementiert werden.

3.6 Modul 6: Mensch-Maschine-Schnittstelle

In Bezug auf die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (englisch: Human-Machine-Interaction, kurz: HMI; in der Datenbank als internes HMI bezeichnet, um es von externem HMI, welches sich außerhalb des Fahrzeugs befindet, abzugrenzen) für automatisierte Systeme muss definiert werden, welche Mindestanforderungen an das HMI in Standarduntersuchungen gestellt werden müssen, wenn es kein zentrales Element der Untersuchungsfrage darstellt. Relevante Aspekte sind hierbei die Wahl der Modalität, d. h. welcher Kanal wird zur Kommunikation von Informationen genutzt, und des Inhalts, d. h. welche Basisinformationen müssen kommuniziert werden.

Besondere Fragestellungen, die sich mit der inhaltlichen Ausgestaltung einer Übernahmeaufforderung befassen, verlangen spezifische Modulvariationen, die in einem gesonderten Kapitel beschrieben sind (siehe Kapitel 3.9).

3.6.1 Stand der Literatur

Die gängigste Modalität zur Informationsübertragung ist die visuelle, z. B. über visuelle Anzeigen in der Instrumententafel, der Ambientebeleuchtung, der Mittelkonsole, auf mobilen Endgeräten oder der Windschutzscheibe (mittels Augmented-Reality-Projektionen oder durch Anzeigen im Head-Up-Display). 70 % der experimentellen L3-Publikationen verwendeten visuelle Elemente im HMI. Zusätzlich wurden häufig akustische Signale, vor allem bei der Darbietung einer Übernahmeaufforderung, genutzt. 64 % der experimentellen L3-Publikationen verwendeten neben visuellen auch akustische Elemente im HMI und enthalten teilweise die konkrete Empfehlung, diese zu nutzen (z. B. Befelein, Boschet & Neukum, 2018; Lorenz, Kerschbaum & Schumann, 2014; Wiedemann, Naujoks, Wörle, Kenntner-Mabiala, Kaussner & Neukum, 2018). Die Darbietung von zusätzlichen akustischen Elementen kann die Übernahmereaktion verbessern (z. B. Naujoks, Mai & Neukum, 2014). Dies ist vor allem unter dem Aspekt relevant, dass beim Fahren mit L3 durch die potenzielle Beschäftigung mit fahrfremden Tätigkeiten davon auszugehen ist, dass die visuelle Aufmerksamkeit des Fahrers nicht mehr nach vorne gerichtet ist.

Nur 18 % der entsprechenden Studien setzten auch Sprachausgaben ein (z. B. Feldhütter, Hecht & Bengler, 2018; Naujoks, Purucker, Wiedemann & Marberger, 2019; Zeeb, Härtel, Buchner & Schrauf, 2017). Deren Nutzen im Vergleich zu generischen akustischen Warnungen liegt beispielsweise in einem geringeren berichteten Workload-Level sowie einer geringeren Interferenz mit fahrfremden Tätigkeiten (Naujoks, Forster, Wiedemann & Neukum, 2016).

Haptische Signale wurden nur in 13 % der experimentellen L3-Untersuchungen thematisiert (z. B. Petermeijer, Bazilinsky, Bengler & De Winter, 2016; Schömig et al., 2018; Yoon, Kim & Ji, 2019). Zum Einsatz kamen sie beispielsweise bei Übernahmeaufforderungen als Sitzvibration (z. B. Roche & Brandenburg, 2018; Müller, Ogrizek, Bier & Abendroth, 2018), als gurtbasierte vibrotaktile Rückmeldung (Weller, G., Schnabl, R., Strümpfer, C. & Möller L., 2019), Bremsruck (Schömig, Wiedemann, Naujoks, Neukum, Leuchtenberg & Vöhringer-Kuhnt, 2018) oder im Rahmen eines Shared-Control-Ansatzes (Bencloucif, Nguyen, Sentouh & Popieul, 2019). Petermeijer, Doubek & de Winter (2017) konnten einen Vorteil von akustischen und haptischen Signalen gegenüber visuellen Signalen in der Übernahmegeschwindigkeit finden. Ein spezifischer Vorteil von haptischen gegenüber akustischen Signalen fand sich allerdings nur in Bezug auf subjektive Maße, wie Nützlichkeit und Zufriedenheit. Yoon, Kim & Ji (2019) fanden keine Interaktion zwischen der Modalität der Übernahmeaufforderung (visuell, akustisch, haptisch) und der Modalität der zu bearbeitenden fahrfremden Tätigkeit. Müller et al. (2018) stellten fest, dass die bloße Verwendung einer Sitzvibration nicht als Warnreiz interpretiert wurde. Sie empfehlen für Übernahmeaufforderungen eine multimodale Rückmeldung, da diese zu den schnellsten Reaktionen führt. Weller et al. (2019) fanden für gurtbasierte, vibrotaktile Rückmeldekonzepete positive Effekte hinsichtlich Reaktionszeiten und Sicherheit. Cramer, Kaup & Siedersberger (2019) konnten darüber hinaus zeigen, dass auch vestibuläre Rückmeldungen, z.B. aktive Nickbewegungen des Fahrzeugs, die die Detektion eines einscherenden Fahrzeugs signalisieren, als sinnvolle Unterstützung des Systembewusstseins eines Fahrers während des automatisierten Fahrens genutzt werden können.

Auf der inhaltlichen Ebene sind die Darstellung des Systemzustands und die Ausgabe einer Übernahmeaufforderung bei L3-Systemgrenzen als Standard anzusehen. Konkretere Angaben lassen sich aus der Datenbank nur für Publikationen ableiten, in denen spezifische Aspekte dieser Inhalte variiert wurden, z. B. die Spezifität von Informationen bei Übernahmeaufforderungen oder weitere zusätzliche Systeminformationen wie eine dynamische Umfeldanzeige, Vorausschau über automatisierte Streckenabschnitte oder besondere Gestaltung einer Hands-Off-Warnung (Ausführungen hierzu in Kapitel 4.1.2). In allen anderen Fällen ist davon auszugehen, dass der Systemzustand in der Regel zumindest über ein visuelles Icon im Kombiinstrument dargestellt wird. Die Übernahmeaufforderung wird zumeist besonders farblich gekennzeichnet, in der Regel kommt ein akustisches Signal hinzu.

3.6.2 Empfehlung

Für Standarduntersuchungen zu L3, in denen andere Fragestellungen als die des HMIs im Vordergrund stehen, empfiehlt es sich als Minimalanforderung, den Systemzustand dauerhaft über eine visuelle Statusanzeige anzuzeigen. Dabei reicht eine einfache Symbolik, wie beispielsweise das ACC-Standardsymbol plus die Darstellung eines zusätzlichen Lenkrads, aus. Der jeweilige Systemzustand kann weiterhin über die Farbe des Symbols dargestellt werden, z. B. grau, wenn aktuell nicht aktiv, grün oder blau, wenn aktiv, sowie gelb und rot als Stufen einer Übernahmeaufforderung. Die Übernahmeaufforderung selbst sollte zusätzlich akustisch über einen geeigneten Warnton zurückgemeldet werden. Auf Sprachausgaben oder haptische Rückmeldungen kann in Standarduntersuchungen zunächst verzichtet werden. Bei spezifischen Fragestellungen der Gestaltung des

HMIs, z. B. für Übernahmeaufforderungen, müssen gezielte Variationen vorgenommen werden, die in diesem Bericht gesondert in Kapitel 4.1.2 beschrieben werden.

3.7 Modul 7: Fahrerzustand

Die Frage des Fahrerzustandes spielt im Zusammenhang mit dem automatisierten Fahren eine besondere Rolle. Zum einen ist davon auszugehen, dass sich dieser durch das Fahren mit Automation verändert. Bei L2-Systemen besteht die besondere Problematik darin, dass der Fahrer zwar von kontinuierlichen Fahraufgaben wie der Längs- und Querführung entbunden wird, ihm aber weiterhin die Aufgabe zukommt, das System und die Verkehrsumgebung dauerhaft zu überwachen. Dies kann zu Effekten wie Vigilanzminderung oder Müdigkeit führen. Bei L3-Systemen ist der Fahrer von dieser Überwachungsaufgabe befreit und kann sich mit anderen fahrfremden Tätigkeiten (FFT) befassen. Interessant ist hierbei die Frage, inwieweit die Art der fahrfremden Tätigkeit die Fähigkeit zur Kontrollübernahme beeinträchtigt. Auch das Thema Motion Sickness spielt in diesem Zusammenhang eine Rolle. Da die Fahrer die Vorteile des automatisierten Fahrens nicht mehr nutzen könnten, wenn sie unter Motion Sickness leiden (z. B. weil sie während des passiven Fahrens nicht lesen können), sollte diese verhindert werden.

Auf allen Stufen der Automation ist theoretisch auch ein Missbrauch der Funktion denkbar, z. B. wenn der Fahrer unter Alkoholeinfluss fährt oder schläft. Diese Fahrerzustände werden erst ab Level 4 kein gravierendes Problem mehr sein, wenn das System selbst die Rückfallebene darstellt und der Fahrer nicht mehr eingreifen muss. Für alle darunterliegenden Level hingegen sollte geprüft werden, wie sich ein derartiger Missbrauch auf die Übernahmefähigkeit des Fahrers auswirkt.

3.7.1 Stand der Literatur

In 30 % der experimentellen L3-Studien setzten sich die Stichproben aus aufmerksamen und fahrtüchtigen Fahrern zusammen, da andere Fragestellungen im Vordergrund standen. Die übrigen Studien beschäftigten sich mit den Auswirkungen eines beeinträchtigten Fahrerzustands. Dabei wurde zu einem großen Teil der durch eine FFT abgelenkte Fahrer betrachtet (90 % dieser Studien; z. B. Befeilin, Boschet & Neukum, 2018; Naujoks, Höfling, Purucker & Zeeb, 2018; Wandtner, 2018). Die Befundlage zu diesem Themenbereich ist mittlerweile umfassend. Spezifische Ergebnisse hierzu werden in einem Abschnitt 3.7 behandelt.

10 % der experimentellen L3-Studien mit Fahrerbeeinträchtigung untersuchten Müdigkeit oder Schläfrigkeit (z. B. Feldhütter, Kroll & Bengler, 2018; Kreuzmair, Gold & Meyer, 2017; Naujoks, Höfling, Purucker & Zeeb, 2018). Diese spezifische Fragestellung und der aktuelle Wissenstand hierzu werden in Abschnitt 4.1.3 behandelt.

Aktuell beschäftigte sich eine Studie mit dem Effekt von Substanzeinfluss (speziell: Alkohol; Wiedemann et al., 2018). Zum Thema Motion Sickness findet sich aktuell ebenfalls nur eine experimentelle Studie im L3-Fahren (Smyth, Jennings, Mouzakitis & Birrell, 2018), drei weitere im L4-Fahren (Karjanto, Yusof, Wang, Terken, Delbressine & Rauterberg, 2018; Morris, Erno & Pilcher, 2017).

3.7.2 Empfehlung

Die Möglichkeit zur Ausübung fahrfremder Tätigkeiten im L3-Fahren stellt einen wesentlichen Nutzen dieser Technologie dar und ist gleichzeitig ein wichtiger Parameter bei der Untersuchung von Übernahmesituationen. Automatisiertes Fahren unter der Beschäftigung mit FFT muss deshalb als das Standardszenario betrachtet werden. Auch für Fragestellungen, in denen andere Variablen im Vordergrund stehen, wie beispielsweise die Mensch-Maschine-Interaktion, ist es empfehlenswert, den Probanden am Steuer von L3-Fahrzeugen einfache Möglichkeiten der Beschäftigung zu bieten (z. B. mittels Lesematerial oder durch die Option, mitgebrachte Smartphones zu nutzen). Auch standardisierte visuell-manuelle Aufgaben wie die Surrogate Reference Task (SuRT) empfehlen sich für dieses Ziel.

Wenn die Fragestellung einer Studie explizit die Auswirkungen bestimmter fahrfremder Tätigkeiten auf die Übernahmefähigkeit sind, muss dieses Modul gezielt variiert werden. Ausführungen dazu finden sich im folgenden Kapitel 3.8.

Die gezielte Induktion von Müdigkeit oder Schläfrigkeit ist nur für entsprechende Forschungsfragestellungen geeignet. In Standarduntersuchungen sollte die Müdigkeit eher verhindert oder kontrolliert werden (z. B. durch Abfrage der Müdigkeit mit der Karolinska Sleepiness Scale).

3.8 Modul 8: Fahrfremde Tätigkeiten

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, werden in sehr vielen experimentellen Studien zum hochautomatisierten Fahren fahrfremde Tätigkeiten (FFT) eingesetzt, da dies in Zukunft der realistische Anwendungsfall sein wird. Bei der Wahl einer sinnvollen FFT für eine Fragestellung kann eine Gliederung anhand übergeordneter Tätigkeitsmerkmale hilfreich sein. Eine ausführliche Katalogisierung von FFT findet sich z. B. bei Naujoks, Befelein, Wiedemann & Neukum (2017).

Die verwendeten Beschäftigungen lassen sich z. B. grob in eher natürliche und eher artifizielle FFT trennen. Natürliche Tätigkeiten ähneln realistischen Beschäftigungen, die im L3-Fahren voraussichtlich zu erwarten sind, wie z. B. die Bedienung von Smartphones oder Tablets, oder der Verzehr von Speisen. Sie werden verwendet, wenn eine möglichst hohe externe Validität erreicht werden soll. Artifizielle Tätigkeiten sind den Anforderungen realistischer Tätigkeiten nachempfunden, sind aber besser standardisierbar und kontrollierbar und können in ihren Anforderungen an den Fahrer variiert werden. Zu diesen zählen beispielsweise die SuRT (Surrogate Reference Task; Mattes & Hallén, 2009), die n-back task (Gevins & Cutillo, 1993) oder die RSVP task (Lawrence, 1971).

Darüber hinaus lassen sich FFT anhand der von ihnen beanspruchten Ressourcen bei der Informationsverarbeitung unterscheiden, wobei hier meistens mehrere Ressourcen gleichzeitig beansprucht werden. Zu den relevantesten Kombinationen gehören hier z. B. visuell-motorisch beanspruchende Tätigkeiten, welche eine Blickabwendung von der Straße sowie eine Beteiligung der Hände beinhalten (z. B. die Bedienung von Smartphones, der Verzehr von Speisen oder die Suche nach Gegenständen). Auditiv-kognitive Tätigkeiten haben ihren Schwerpunkt im Zuhören und Denken, wie z. B. beim Telefonieren oder der Unterhaltung mit Beifahrern. Auch die Komplexität von FFT

kann erheblich variieren, indem Aufgaben mehr oder weniger Aufmerksamkeit erfordern. Manche Tätigkeiten lassen sich darüber hinaus einfacher unterbrechen (z. B. Pausieren von Musik) als andere (z. B. sicheres Verstauen des Wiedergabegerätes auf dem Beifahrersitz). Auch die Motivation zur Beschäftigung mit FFT kann zwischen den Tätigkeiten erheblich variieren. Die Motivation kann dabei entweder intrinsisch verankert sein (z. B. interessante und kurzweilige Smartphone-Spiele) oder durch externe Anreize geschaffen werden (z. B. Belohnung für erzielte Punkte). Eine weitere wichtige Unterscheidung betrifft die Frage, ob die Aufnahme und Bearbeitungsgeschwindigkeit einer Tätigkeit im Ermessen des Fahrers liegen (z. B. beim Angebot, während der L3-Fahrt zu lesen, ohne weitere Vorgaben) oder von außen vorgegeben werden (z. B. bei der vom Versuchsleiter gestarteten Aufgabe). Zu guter Letzt können FFT noch anhand des Ortes ihrer Ausführung im Fahrzeug unterschieden werden. Jeder vom Fahrersitz aus erreichbare Ort kommt hier prinzipiell in Frage.

3.8.1 Stand der Literatur

In drei Viertel aller experimentellen L3-Studien mit Übernahme-situationen kommen fahrfremde Tätigkeiten zum Einsatz. Einen Überblick hierzu geben Naujoks, Befelein, Wiedemann und Neukum (2017). In der Literatur wurden etwa zu gleichen Teilen eher natürliche (z. B. Befelein, Boschet & Neukum, 2018; Naujoks, Mai & Neukum, 2014; Zeeb, Buchner & Schrauf, 2015) und eher artifizielle Tätigkeiten untersucht (z. B. Radlmayr, Gold, Lorenz, Farid & Bengler, 2014; Wandtner, 2018; Wandtner, Schömig & Schmidt, 2018). In knapp 90 % der entsprechenden Studien waren visuelle Ressourcen wesentlich beteiligt. Dahinter folgten mit gut 60 % motorische Ressourcen, u. a. durch den häufigen Einsatz visuell-motorischer Aufgaben. In mehr als der Hälfte der entsprechenden Publikationen bezeichneten die Autoren die verwendete FFT als kognitiv, da sie im Vergleich zu anderen Tätigkeiten eine erhöhte kognitive Beanspruchung erzeugen sollte. In gut einem Viertel der Studien wurden auditive Ressourcen wesentlich beansprucht. Nur vereinzelte Studien gingen explizit auf die Komplexität, Unterbrechbarkeit und Motivation der fahrfremden Tätigkeiten ein (z. B. Befelein, Boschet & Neukum, 2018; Jarosch, Kuhnt, Paradies & Bengler, 2017; Wandtner, Schömig & Schmidt, 2018). In den Studien, die dazu Angaben beinhalten, wurde der überwiegende Teil der Tätigkeiten extern ausgelöst (z. B. durch den Versuchsleiter oder streckenbasiert) und die Bearbeitungsgeschwindigkeit wurde in etwa zu gleichen Teilen von außen vorgegeben oder vom Probanden selbst gesteuert.

3.8.2 Empfehlung

Für Standarduntersuchungen, deren Fokus nicht in bestimmten Merkmalen fahrfremder Tätigkeiten liegt, eignen sich eher artifizielle fahrfremde Tätigkeiten. Diese bieten aufgrund ihres meist höheren Standardisierungsgrades bessere Möglichkeiten zur experimentellen Kontrolle. Die meisten natürlichen Tätigkeiten beinhalten zu viel Variation in den Kernmerkmalen Ressourcenbeanspruchung, Komplexität, Unterbrechbarkeit und Anreiz, als dass sie verlässlich für alle Probanden vergleichbare Ausgangsbedingungen bezüglich des Ablenkungsgrads beispielsweise für die Untersuchung der Übernahmefähigkeit schaffen könnten.

Der Nachteil einer geringeren externen Validität der Befunde bei der Nutzung artifizieller Aufgaben ist dabei zu vernachlässigen, wenn andere Fragestellungen im Fokus der Untersuchung stehen und die FFT lediglich als methodisches Mittel zur Erzeugung eines bestimmten Fahrerzustands verwendet wird. Die beanspruchten Ressourcen sollten dabei visuell-motorischer Art sein, da hier die größten Interferenzen mit der Übernahme der Fahrzeugkontrolle zu erwarten sind. Daher sind beispielsweise die SuRT oder die RSVP-Aufgabe zu empfehlen.

Beim Einsatz einer FFT als Mittel zur Ablenkungserzeugung muss weiter beachtet werden, dass diese auf jeden Fall im Moment der Übernahmeaufforderung bearbeitet wird, um den gewünschten Fahrerzustand auch tatsächlich zuverlässig zu erzeugen. Um dies sicherzustellen, ist zum einen die Instruktion zur Bearbeitung der Aufgabe entscheidend. Die Fahrer müssen instruiert werden, die Aufgabe immer dann zu bearbeiten, wenn sie präsent ist bzw. ihnen angeboten wird. Um die Aufgabenbeschäftigung sicher zu stellen, kann die Motivation durch den Einsatz von externen Anreizen, wie die Aussicht auf eine zusätzliche finanzielle Prämie, zusätzlich gesteigert werden.

Um Frustration oder Langeweile vorzubeugen, sollte die Aufgabe nur in bestimmten Abschnitten vorgegeben werden und nicht kontinuierlich bearbeitet werden müssen. Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass nicht in jedem Abschnitt, in dem die FFT bearbeitet werden soll, ein bestimmtes Ereignis, z. B. eine Übernahmeaufforderung eintritt, um Erwartungseffekte zu vermeiden.

Durch die Probanden selbst gewählte Tätigkeiten, deren Bearbeitungsgeschwindigkeit sie selbst bestimmen können, eignen sich nur für Fragestellungen, bei denen es nicht auf einen bestimmten Grad der Fahrerablenkung ankommt. In allen anderen Fällen ist die Verwendung von FFT empfehlenswert, deren Startzeitpunkt und Geschwindigkeit von extern vorgegeben werden. Für Standarduntersuchungen sind zudem Aufgaben zu wählen, die vom Fahrersitz aus leicht zu erreichen sind und welche die Erfassung der Blickzuwendung zu diesen über entsprechende Messtechniken erlauben.

3.9 Modul 9: Prüfscenario

Dieses Modul wird in die beiden großen Themenbereiche des automatisierten Fahrens, Untersuchungen zur Übernahmefähigkeit (1) und Untersuchungen des längeren Fahrens mit aktivem L3-System (2) aufgeteilt, da sich dort die Prüfscenarien deutlich unterscheiden.

3.9.1 Untersuchung der Übernahmefähigkeit

Der Fahrer in SAE-Level 3 muss das System und die Verkehrsumgebung nicht mehr permanent überwachen. Er kann sich anderen nicht-fahrtbezogenen Tätigkeiten zuwenden, muss aber dennoch als Rückfallebene fungieren und innerhalb eines vorgegebenen Zeitfensters die Fahraufgabe wieder übernehmen können. Deshalb rückt die Übernahmefähigkeit an Systemgrenzen in den Fokus der Forschung zum automatisierten Fahren. 76 % der gelisteten experimentellen L3-Studien in der Datenbank beschäftigen sich mit dieser Thematik. In entsprechenden L3-Studien ist das zentrale Prüfscenario immer eine Situation, in der der Fahrer die Fahrzeugkontrolle übernehmen muss. Die Ausgestaltung des Szenarios orientiert sich in den experimentellen Studien an den realistischen technischen Grenzen von Level-3-Systemen. Mögliche Gründe für diese Systemgrenzen sind u. a.

Sensorausfälle, der Wegfall von sensorrelevanten Spurmarkierungen, das Erreichen von Baustellen, Hindernisse auf der eigenen Fahrspur, enge Kurven, wegfallende Fahrspuren, einscherende Fahrzeuge, widrige Wetterbedingungen, Stauenden oder das Erreichen einer Autobahnabfahrt. In experimentellen Studien kann zudem eine Übernahmeaufforderung ohne erkennbaren Grund ausgelöst werden.

Neben der Beschreibung der Situation nach dem Grund für die Übernahme kann auch eine Klassifikation nach der vom Fahrer zu erbringenden Reaktion erfolgen, welche von einer schlichten Überwachung des umgebenden Verkehrs über die Fortführung der Quer- und Längsführung bis hin zum Bremsen oder Ausweichen/Spurwechsel reichen kann. Eine weitere Kenngröße des Übernahmeszenarios ist die Kritikalität. Als eher wenig kritisch gelten Übernahmeszenarien, in denen dem Fahrer viel Zeit zu reagieren bleibt oder bei denen die erwartete Fahrerreaktion einfach ist (z. B. lange im Voraus angekündigter Spurwegfall ohne Verkehr auf der benachbarten Spur oder kurzfristige Aufforderung, die Längsführung fortzuführen). Kritischere Übernahmeszenarien sind meist kurzfristig und beinhalten komplexere Fahrerreaktionen (z. B. kurzfristige Übernahmeaufforderung wegen eines Hindernisses auf der eigenen Fahrspur, die vom Fahrer ein starkes Bremsen und/oder Einfädeln in den fließenden Verkehr auf der Nachbarspur notwendig macht). Auch die Frage der Häufigkeit solcher Übernahmeszenarien innerhalb einer Versuchsfahrt ist von methodischer Bedeutung.

3.9.1.1 Stand der Literatur

Verschiedene Faktoren können bei der Auswahl eines Übernahmeszenarios eine Rolle spielen. In erster Linie werden Szenarien in Betracht gezogen, mit deren Auftreten unter Realbedingungen nach aktuellem technischen Stand mit hoher Wahrscheinlichkeit zu rechnen ist. Aber auch die jeweilige Forschungsfrage kann die Verwendung eines bestimmten Prüfzenarios nahelegen. Eine gute Übersicht über geeignete L3-Prüfzenarios ist z. B. im Rahmen des Projekts Ko-HAF entstanden (Gold, Naujoks, Radlmayr, Bellem & Jarosch, 2017). Etwa die Hälfte aller gesammelten experimentellen L3-Studien mit Übernahmeaufforderung, welche Angaben zum Übernahmeszenario machen, verwendete ein Hindernis auf der eigenen Fahrspur als Systemgrenze, dem die Fahrer ausweichen müssen. Knapp ein Viertel der Publikationen verwendete ein Baustellenszenario. Die geforderten Fahrerreaktionen waren überwiegend komplex. In den entsprechenden Publikationen, welche Angaben zum erforderlichen Fahrerverhalten machen, wurde in über 80 % der Fälle ein Spurwechsel- bzw. Ausweichmanöver und/oder Bremsengriff vom Fahrer gefordert. Beide Szenarien stellen eher kritische Übernahmesituationen dar, da das Ausbleiben einer Fahrerreaktion häufig mit einer Kollision mit anderen Fahrzeugen verbunden ist. Weniger kritische Szenarien sind beispielsweise der Wegfall der Spurmarkierung (ca. 15 % der Studien) und Übernahmeaufforderungen ohne erkennbaren Grund (ca. 12 %). Das Aufrechterhalten der Quer- und Längsführung, die Beobachtung des Umgebungsverkehrs oder sonstiges Verhalten spielen zusammengenommen in etwas mehr als 30 % der Publikationen eine Rolle.

Ein Ansatz für eine standardisierte Versuchsanordnung für die (kognitive) Übernahmefähigkeit wird von Othersen, Petermann-Stock, Schömig, Neukum & Fuest (2017) beschrieben: Der eigentlichen Übernahmesituation ist eine Phase des hochautomatisierten Fahrens auf einer dreispurigen Autobahnstrecke in der Simulation vorangestellt, die in ihrer Dauer beliebig variiert werden kann,

z. B. mit dem Ziel, Müdigkeit zu erzeugen (in der berichteten Studie war diese Fahrt mit 45 s eher kurz). Während dieser Fahrt wird die Projektion der Fahrszenerie abgeschaltet, sodass der Fahrer nur eine schwarze Leinwand sehen kann, was eine standardisierte Ausgangsbedingung für das Gefühl des „Out-of-the-Loop“ schaffen soll. Während der automatisierten Fahrt können verschiedene FFT angeboten werden, die der Fahrer zu bearbeiten hat. Im Moment der Übernahmeaufforderung wird die Projektion dann wieder angeschaltet und der Fahrer mit der Übernahme-situation konfrontiert. Diese besteht aus einem Hindernis auf der mittleren Spur („Wanderbaustelle“), die entweder links oder rechts umfahren werden soll. Die Komplexität der Übernahme-situation kann dabei über die Gestaltung des umgebenden Verkehrs variiert werden. Über die Relativgeschwindigkeit und Position von Fahrzeugen auf den anderen Spuren im Moment der Übernahmeaufforderung kann die Entscheidung, welche Spur sicher genutzt werden kann, ohne mit dem Verkehr auf den Nachbarspuren oder dem Hindernis zu kollidieren, beeinflusst werden bzw. gar die Entscheidung, ob eine Bremsreaktion oder ein Ausweichmanöver sinnvoll ist. Als abhängige Maße können Blickreaktionszeiten, Hands-On-Zeiten, Übernahmezeiten und Übernahmekualität erfasst werden. Als besonderes Maß wird bei Othersen die „kognitive“ Übernahmezeit beschrieben, die aussagen soll, wann ein Fahrer die Entscheidung für ein bestimmtes Verhalten getroffen hat. Dies wurde in der Studie über die Verbalisierung der Ausweichrichtung (der Fahrer sollte „rechts“ oder „links“ sagen) operationalisiert, die der Fahrer wählen wird, bevor er dieses Manöver tatsächlich motorisch ausführt. In der Anwendung dieser Methode konnte gezeigt werden, dass sowohl die Situationskomplexität als auch die Beschäftigung mit einer FFT und deren Position einen Einfluss auf die kognitive Übernahmefähigkeit hatten. Ob die FFT im Moment der Übernahmeaufforderung systemseitig unterbrochen wurde, hatte keinen Einfluss.

3.9.1.2 Empfehlung

Das geeignete Übernahme-szenario richtet sich nach dem Ziel der Untersuchung. In den allermeisten Standarduntersuchungen geht es um die Auswirkungen eines bestimmten Fahrerzustands auf die Übernahmefähigkeit des Fahrers. Für derartige Studien empfiehlt sich der Einsatz eines Übernahme-szenarios mit eher hoher Komplexität, sowohl was die erforderliche Verhaltensreaktion als auch die Zeitkritikalität des erforderlichen Fahrereingriffs betrifft. Als einfachstes in Betracht kommendes Ausfallszenario ist z. B. eine enge Kurve zu nennen. Hier muss der Fahrer sowohl seine Geschwindigkeit angemessen reduzieren als auch die Lenkaufgabe adäquat übernehmen, um nicht von der Spur abzukommen. Sowohl die Lenkreaktion als auch das Ausbleiben dieser Reaktion lassen sich gut quantifizieren (z. B. anhand des Spurverlaufs oder von Spurübertretungen). Durch Hinzufügen von Umgebungsverkehr lässt sich die Kritikalität des Szenarios zusätzlich erhöhen. Ebenfalls zu empfehlen ist ein Hindernis auf der eigenen Fahrspur, auf das der Fahrer reagieren muss. Je nach Gestaltung des umgebenden Verkehrs kann die erforderliche Fahrerreaktion hier entweder ein starkes Bremsen und/oder ein Ausweichmanöver sein. Maße der Übernahmeleistung lassen sich hier gut über die Reaktionsschnelligkeit und die daraus resultierende TTC (Time-to-Collision) sowie über die Stärke von Quer- und Längsbeschleunigungen erfassen.

Das Zeitbudget für die Übernahme durch den Fahrer ist in diesem Szenario besonders einfach variierbar, indem bei gleicher Fahrgeschwindigkeit in unterschiedlichen Entfernungen vor dem Hindernis die Übernahmeaufforderung streckenbasiert ausgelöst werden kann.

Wenn die Komplexität der erforderlichen Verhaltensreaktion innerhalb einer Studie gezielt variiert werden soll, können zusätzlich einfachere Übernahme szenarien implementiert werden, wie eine Übernahmeaufforderung auf gerader Strecke aufgrund des Wegfalls der Spurmarkierungen.

Was die Frequenz der Übernahme situationen betrifft, wird für Standarduntersuchungen eine geringe Häufigkeit empfohlen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass der Fahrer bis zum Auftreten einer Übernahmeaufforderung im Versuch eine gewisse Zeit hatte (ca. 10 Minuten), um sich an das Fahren mit aktivem System zu gewöhnen und ein realistisches Fahrgefühl zu entwickeln. Aufgrund zu erwartender Erstkontakteffekte wird empfohlen, das Szenario zu wiederholen. Dies sollte in einem Abstand von nicht weniger als zehn Minuten erfolgen. Insgesamt sollten also in einer 30-minütigen Fahrt nicht mehr als zwei Übernahme szenarien enthalten sein.

3.9.2 Fokus auf Erleben des Fahrens mit aktivem System

Bei Studien, die andere Aspekte als die Übernahmefähigkeit an Systemgrenzen im Fokus haben, sind die möglichen Prüf szenarien vielfältig. Die zu beantwortenden Fragestellungen betreffen u. a.:

- Fragen der Usability, die wiederholte Aktivierungs- und Deaktivierungsszenarien benötigen
- Fragen der Mode Awareness, die Szenarien mit häufigen fahrerinitiierten und systeminitiierten Zustandswechseln erfordern
- Fragen der Entstehung von Müdigkeit, die längeres Fahren mit aktivem System benötigen
- Fragen der Verhaltensanpassungen in Phasen des manuellen Fahrens nach längeren Fahrten mit aktivem System.

3.9.2.1 Stand der Literatur

In rund einem Viertel der experimentellen L3-Studien wurden längere automatisierte Fahrabschnitte als Prüf szenario eingesetzt, um die Auswirkungen längerer L3-Fahrten auf den Fahrerzustand zu ermitteln (z. B. Feldhütter, Hecht, Kalb & Bengler, 2019; Schömig, Hargutt, Neukum, Petermann-Stock & Othersen, 2015; Vogelpohl, Kühn, Hummel & Vollrath, 2018). Zu den methodischen Fragen der Erzeugung und Messung von Müdigkeit wird hier auf Kapitel 4.1.3 verwiesen.

32 % der experimentellen L3-Studien untersuchten explizit Aktivierungsszenarien neben den typischen Deaktivierungsszenarien, die in L3-Studien in der Regel Szenarien mit Übernahmeaufforderung durch das System waren (74 %). Sechs Studien untersuchten gezielt Transitionen zwischen Automationsstufen (z.B. Forster, Hergeth, Naujoks, Krems & Keinath, 2019; Feldhütter, Härtwig, Kurpiers, Hernandez & Bengler, 2018; Lu, Blokpoel & Schindler, 2017) für sogenannte Mixed-Level-Systeme.

Sieben Studien untersuchten das manuelle Fahren nach längeren Phasen des automatisierten Fahrens. Dabei ging es zum einen um die unmittelbare Reaktion eines Fahrers nach dem Wegfall der Automation, die eher Aspekte der Übernahmefähigkeit umfasst (z. B. Schmidt, Dreißig, Stolzmann & Rötting, 2017; Willemsen, Stuijver & Hogema, 2014). Im Gegensatz dazu untersuchten beispielsweise Brandenburg & Skottke (2014) sowie Skottke, Debus, Wang & Huestegge (2014) län-

gerfristige Carry-over-Effekte des automatisierten Fahrens, die sich in Parametern wie geringeren Abständen zu Vorderfahrzeugen sowie stärkeren Spurschwankungen als in der Vergleichsgruppe, die durchgängig manuell fuhr, widerspiegeln.

3.9.2.2 Empfehlung

Für die meisten Standarduntersuchungen zu L3-hochautomatisierten Fahrabschnitten, die sich mit der Bedienbarkeit, dem Systemverständnis und dem subjektiven Empfinden des automatisierten Fahrens beschäftigen, wird es sinnvoll sein, einen ausgedehnten automatisierten Fahrabschnitt von mindestens 30 bis 45 Minuten einzusetzen. Darin können die Fahrer wiederholt (zur Erfassung von Übungseffekten) das System aktivieren und deaktivieren sowie zwischen Zuständen wechseln bzw. systeminitiierte Zustandswechsel erleben. Diese können bei Systemen mit sowohl L2- als auch L3-Automationsstufe beispielsweise aufgrund situativer Einflussfaktoren, wie der Verkehrsdichte, Umwelteinflüssen (z.B. aufkommender Nebel), dem Wechsel auf einen anderen Straßentyp (z.B. von Autobahn zu Landstraße), oder ohne erkennbaren Grund auftreten. Weiterhin kann ein solcher Fahrparcours auch längere Phasen des manuellen Fahrens beinhalten.

3.10 Modul 10: Abhängige Variablen

Dieses Modul wird in die beiden großen Themenbereiche des automatisierten Fahrens, Untersuchungen zur Übernahmefähigkeit (1) und Untersuchungen des längeren Fahrens mit aktivem L3-System (2), aufgeteilt, da sich dort die abhängigen Variablen jeweils deutlich unterscheiden.

3.10.1 Maße der Übernahmeleistung

Für die Übernahmeleistung werden in der Regel Maße der Übernahmeschnelligkeit in Form von Reaktionszeiten auf eine gegebene Übernahmeaufforderung sowie Maße der Übernahmequalität unterschieden.

Die Kontrollübernahme durch den Fahrer besteht aus mehreren Prozessen, für die Reaktionszeiten erfasst werden können (siehe Übernahmeprozessmodell von Marberger, Mielenz, Naujoks, Radlmayr, Bengler & Wandtner, 2017). Zu den am häufigsten berichteten Maßen gehören die Dauer bis zur Blickausrichtung zur Straße (sog. „Eyes-On-Road Time“), zum Ergreifen des Lenkrades (sog. „Hands-On Time“) und zur Kontrollübernahme durch den Fahrer (die sog. Übernahmezeit oder „Take-Over Time“). Letztere stellt das wichtigste Maß dar und bezeichnet die Zeitspanne zwischen Ausgabe der Übernahmeaufforderung und dem Beginn einer signifikanten Fahrerintervention (z. B. durch Tastenbetätigung, Bremsen oder Lenken).

Neben den beschriebenen Reaktionszeitmaßen werden auch Maße diskutiert, die eine differenzierte Betrachtung der Übernahmequalität erlauben. Dies sind Parameter wie Quer- und Längsbeschleunigungen, Maße der Spurhaltung wie die sog. SDLP (Standard Deviation of Lateral Position) oder zeitbasierte Abstandsmaße wie die Time-to-Collision (TTC) oder die Time-to-Lane-Crossing (TLC). Auch die Art des gewählten Fahrmanövers wird von einigen Autoren berichtet und als Qualitätsmaß interpretiert (z. B. ob ein Fahrer vor einem Hindernis nur bremst oder zusätzlich aus-

weicht). Einige Autoren betrachten auch den Verlauf der Fahrzeugstabilisierung über längere Zeiträume nach der Übernahme, um zu definieren, wann ein Fahrer wirklich „zurück im Loop“ ist (nach Merat, Jamson, Lai, Daly & Carsten, 2014, dauert es 35 bis 40 Sekunden, bis ein Fahrer das Fahrzeug wieder stabilisiert hat).

Ein Beispiel für eine ganzheitliche Beurteilung der Kontrollierbarkeit von Übernahmesituationen in L3-Studien ist das vom WIVW entwickelte Take-Over-Controllability-Rating (TOC-Rating; Naujoks, Wiedemann, Schömig, Jarosch & Gold, 2018), das auf einer expertenbasierten Beobachtung des Fahrerverhaltens in Übernahmesituationen anhand von Videomaterial beruht.

Die subjektiv wahrgenommene Kritikalität der Übernahmesituation beschreibt, wie der Fahrer selbst seine Fähigkeit einschätzt, die vorgegebene Situation bewältigt zu haben. Hierfür kann die häufig eingesetzte 11-stufige Skala zur Bewertung der Kritikalität von Fahr- und Verkehrssituationen (SBFV) nach Neukum, Lübbecke, Krüger, Mayser und Steinle (2008) genutzt werden. Auch der mentale Workload kann ein Indikator für die Anforderungen in der Übernahmesituation sein. Er wird teils direkt mittels Fragebögen wie dem NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988), teils indirekt über die Leistung in der fahrfremden Tätigkeit oder die Fahrleistung erfasst. Ein weiteres Maß für die Güte der Übernahme kann auch sein, wie schnell oder gut der Fahrer wieder Situationsbewusstsein erlangt.

3.10.1.1 Stand der Literatur

Da die beschriebenen Maße der Übernahmeleistung sehr vielfältig sind, wurden sie in der Literaturdatenbank zu übergeordneten Kategorien zusammengefasst. 105 der 225 Studien zum Übernahmeverhalten in experimentellen L3-Studien (47 %) erfassten qualitative Maße der Längsregulation wie Beschleunigung/Verzögerung, Abstand oder Time-to-Collision (TTC; z. B. Gold, Damböck, Lorenz & Bengler, 2013; Zeeb, Buchner & Schrauf, 2016). 112 der 225 Studien (50 %) maßen Parameter der Querregulation wie das Lenkverhalten, die Position auf der Straße oder die Querbewegung. 30 Studien erfassten Kennwerte der Geschwindigkeit und weitere 27 Studien die Anzahl von Kollisionen. Das beschriebene TOC-Rating kam z. B. bei Jarosch und Bengler (2018) zum Einsatz.

Als Reaktionszeitmaße in der Systeminteraktion wurde in 47 Studien die Hands-On-Zeit gemessen (21 %) und in 155 Studien (69 %) die Übernahmezeit (z. B. Befein, Boschet & Neukum, 2018; Damböck, Farid, Tönert & Bengler, 2012; Zeeb, Buchner & Schrauf, 2015). Die Art des gewählten Übernahmemanövers wird in 17 Publikationen berichtet (8 %; z. B. Blommer, Curry, Swaminathan, Tijerina, Talamonti & Kochhar, 2017; Eriksson & Stanton, 2017; Petermeijer, Bazilinskyy, Bengler & De Winter, 2016). Blickreaktionszeiten wurden in 25 Studien berichtet (11 %; z. B. Petermeijer et al., 2017; Zeeb, Härtel, Buchner & Schrauf, 2017; Othersen et al., 2017).

Der mentale Workload der Probanden in Übernahmesituationen wird in 28% der Studien berichtet (z. B. McCarty, Funkhouser, Zadra & Drews, 2016; Naujoks, Höfling, Purucker & Zeeb, 2018; Yoon, Kim & Ji, 2019). Dabei kam fast immer der NASA-TLX zum Einsatz (Hart & Staveland, 1988; z. B. Kim, Kim, Kim & Yoon, 2019; Köhn, Gottlieb, Schermann & Krcmar, 2019), selten auch der DALI (Walch, Mühl, Baumann & Weber, 2018) oder selbstentwickelte Workload-Skalen (z. B. Lau, Harbluk, Burns & El-Hage, 2018; Schömig et al., 2018). Auch die Leistung in einer

fahrfremden Tätigkeit kann als Workload-Maß verwendet werden, wenn die Fragestellung sich auf die Auswirkungen des automatisierten Fahrens an sich konzentriert (z. B. Stapel, Mullakkal-Babu & Happee, 2019). Eine Zusammenfassung zum mentalen Workload liefert die Übersichtsarbeit von de Winter, Happee, Martens und Stanton (2014).

Die wahrgenommene Kritikalität der Übernahme-situationen wurde in knapp 20 % der Studien abgefragt (z. B. Befelein, Boschet & Neukum, 2018; Radlmayr, Fischer & Bengler, 2018; Wandtner, 2018). Dabei wurden die SBFV oder selbst entwickelte Skalen verwendet.

Maße des Situationsbewusstseins in Übernahme-situationen werden in 9 % der experimentellen L3-Studien mit Übernahme-situationen berichtet (z. B. Petersen, Robert, Yang & Tilbury, 2019; Yang, Karakaya, Dominioni, Kawabe & Bengler, 2018; Rezvani, Driggs-Campbell, Sadigh, Sastry, Seshia & Bajcsy, 2016). Situation Awareness wurde dabei über das SAGAT-Verfahren (z. B. Pokam, Debernard, Chauvin & Langlois, 2019; Radlmayr, Bruch, Schmidt, Solbec & Wehner, 2018) oder die SART (subjektive Selbstbewertung der Situation Awareness, z. B. Köhn et al., 2019; Petersen et al., 2019) gemessen.

3.10.1.2 Empfehlung

In L3-Studien mit Übernahme-situationen sollten hinsichtlich der Leistungsmaße als Minimalanforderung die Hands-On-Zeiten und die Übernahmezeiten erfasst werden. Hinzukommen sollten je nach untersuchter Übernahme-situation Maße der Übernahmequalität wie die Time-to-Collision oder die Häufigkeit auftretender Kollisionen in Szenarien mit einem Hindernis. Weiterhin sind Maße der Querregulation wie der Zeitpunkt eines Lenkeingriffs, die Stärke der lateralen Abweichung oder die Häufigkeit von Spurverlassensereignissen im Fall einer scharfen Kurve als Übernahme-szenario zu betrachten. Alternativ kann das TOC-Rating zur Bewertung der Kontrollierbarkeit von Übernahme-situationen verwendet werden, welches verschiedene Maße der Übernahmequalität zusammenführt. Zur Erfassung der subjektiv wahrgenommenen Situationskritikalität wird die SBFV-Skala von Neukum et al. (2008) empfohlen. Als Standardverfahren für die Erfassung des durch die Übernahme-situation entstandenen Workload kann der NASA-TLX eingesetzt werden.

3.10.2 Maße zur Bewertung des automatisierten Systems

Für Studien, in denen entweder das Fahren mit aktivem System oder andere Fragestellungen als die der Übernahmeleistung im Vordergrund stehen, rücken Maße in den Vordergrund, welche die Gestaltung des Systems bzw. der Mensch-Maschine-Schnittstelle beschreiben. Da die erfassten Variablen sehr stark von der jeweiligen Fragestellung abhängen und über vielfältige Skalen und Fragebögen erfasst werden können, wurden diese in der Datenbank den folgenden übergeordneten theoretischen Konstrukten zugeordnet: Systemvertrauen, Akzeptanz, wahrgenommene Sicherheit, Usability, Mode Awareness, Situation Awareness, Mental Model, User Experience, Müdigkeit, Motion Sickness und Sonstige.

3.10.2.1 Stand der Literatur

Von den oben genannten Konstrukten wurde in L3-Studien am häufigsten die Systemakzeptanz erfasst (88 der 298 experimentellen Studien, d. h. knapp ein Drittel; z. B. Forster, Naujoks, Neukum & Huestegge, 2017; Körber et al., 2018; Lu et al., 2019). Wenn standardisierte Fragebögen verwendet wurden, kam häufig die van-der-Laan-Skala (van der Laan, Heino & De Waard, 1997; z. B. Richardson, Flohr & Michel, 2018; Tijerina, Blommer, Curry, Swaminathan, Kochhar & Talamonti, 2016) oder der Technology-Acceptance-Model-Fragebogen zum Einsatz (TAM; Heijden, 2000; verwendet von van der Heiden, Iqbal & Janssen, 2004; z. B. Stephan, 2019; Schartmüller, Riener, Wintersberger & Frison, 2018). Die User Experience wurde in 24 % der Studien ermittelt. Wenn dies mittels standardisiertem Fragebogen geschah, handelte es sich dabei um den User Experience Questionnaire (UEQ; Laugwitz, Schrepp & Held, 2008; z. B. Wintersberger, Frison, Riener & Sawitzky, 2019; Richardson et al., 2018; Schartmüller et al., 2018). Das Systemvertrauen wurde in 22 % der Studien erfasst, z. B. über die Trust in Automated Systems Scale; z. B. bei Lu, Zhang, Feldhütter, Happee, Martens & De Winter, 2019 oder die Trust in Automation Scale, TiA; Körber, 2019.

Usability-Aspekte wurden in 15 % der Studien erfragt (45 Studien; z. B. Rezvani et al.; Richardson, Flohr & Michel, 2018; Schömig et al., 2018). Als Fragebogen kam häufig die System Usability Scale (SUS; Brooke, 1996) zum Einsatz (z. B. bei Madigan, Louw & Merat, 2018; Forster, Hergeth, Naujoks & Krems, 2018; Oliveira, Luton, Iyer, Burns, Mouzakitis, Jennings & Birrell, 2018).

Acht Studien (3 %) beschäftigten sich mit der Frage der Mode Awareness (weitere Ausführungen hierzu finden sich in einem speziellen Kapitel zu dieser Fragestellung, siehe Kapitel 4.2.2).

3.10.2.2 Empfehlung

Bestimmte der oben genannten Konstrukte lassen sich leicht über standardisierte Fragebögen erfassen, die standardmäßig in jeder experimentellen Studie zum Thema automatisiertes Fahren eingesetzt werden können. Dazu gehören die Erfassung der Usability über die SUS sowie die van-der-Laan-Skala zur Erfassung der Systemakzeptanz. Zur Erfassung des Systemverständnisses müssen systemabhängige Fragen formuliert werden, die in einem halbstrukturierten Interview vom Fahrer offen oder mit Vorgabe von Antwortalternativen beantwortet werden können (z. B.: Welche Fähigkeiten hat das System? Welche Zustände hat das System? Was sind Ihre Aufgaben als Fahrer in dem jeweiligen Zustand?).

3.11 Übersicht Standardausprägung der Module

Tabelle 2 zeigt die möglichen Ausprägungen der vorab beschriebenen zehn Module der Studienkonzeption, d. h. methodische Varianten, die gewählt werden können. Grün markiert sind die sich aus den Empfehlungen für die Basisanordnung ergebenden Standardausprägungen, die für einen Großteil von Studien verwendet werden können. In der letzten Spalte sind Erläuterungen zu den Empfehlungen gegeben. Je nach Fragestellung müssen einzelne Module in ihren Ausprägungen angepasst werden.

Tabelle 2: Empfohlene Basisausprägungen (grün markiert) der Module für die Studienkonzeption experimenteller Studien zum automatisierten Fahren auf Level 3.

Modul		Modulsausprägungen		Kommentar/Erläuterung
01: Stichprobe	Stichprobengröße	Mindestens 20 bis 24 Fahrer		
	Alter	Heterogene Verteilung	Spezifische Altersgruppen	<i>Gleichmäßige Verteilung über vier Altersgruppen (gemäß NHTSA)</i>
	Geschlecht	Gleichverteilung	Spezifische Geschlechtergruppe	
	Vorerfahrung mit Assistenz/ Automation	Nicht vorhanden	Vorhanden	<i>Nicht entscheidend, wenn Kontrolle von Lerneffekten über Eingewöhnung stattfindet</i>
	Probandengruppe	Normalbevölkerung	Mitarbeiter	<i>„Unbefangene“ Probanden, möglichst ohne technischen Hintergrund, möglichst keine Fokussierung auf „Kunden“</i>
02: Simulatorausstattung	Art des Simulators	Statisch	Dynamisch	<i>Dynamisch, wenn möglich</i>
	Sonstige Voraussetzungen	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichkeit zur Implementierung einer automatisierten Fahrfunktion inklusive aller Systemzustände • Möglichkeit zur Erfassung des Blickverhaltens über Eye-Tracking-System • Möglichkeit zur Hands-On-Erfassung • Möglichkeit zur Implementierung eines Bedienkonzepts für Aktivierung/Deaktivierung des Systems/Wechsel zwischen Systemzuständen durch den Fahrer • Möglichkeit zur Implementierung verschiedener Anzeigekonzepte (inklusive visueller, akustischer und haptischer Rückmeldungen) • Möglichkeit zur Mitschau der Versuchsfahrt und zur Beobachtung des Fahrers und dessen Interaktionen 		

03: Instruktion und Eingewöhnung		Wenig Instruktion/ keine Eingewöhnung		Ausführliche Instruktion mit Eingewöhnungsfahrt		<i>Ausnahme: Bei Interesse an intuitivem Systemverständnis und Erstkontakt im Umgang mit kritischen Situationen sehr reduzierte Instruktion zum System, keine Eingewöhnung</i>	
04: Streckencharakteristika	Straßentyp	Autobahn		Landstraße		Stadtverkehr	
	Sonstige Streckengestaltung	<ul style="list-style-type: none"> • 2-streifig pro Richtung • Fahrbahnbreite: 3.75 m, Seitenstreifen: 2.5 m • Zwischen den Bahnen Grünstreifen • Fahrbahnbegrenzung: Leitplanken • Beschilderung: nicht zwingend, außer zur Vorgabe einer Set Speed, die einzustellen ist (100 oder 120 km/h) • Bebauung: reduziert (Wiesen, Felder oder eine geringe Bepflanzungsdichte mit Bäumen) • Verlauf: Wenig kurvig, minimaler Kurvenradius 800 m • Verkehr: Geringe Verkehrsdichte, in besonderen Situationen (z. B. Übernahmen) kein Verkehr oder einzelne, gezielt positionierte Fahrzeuge; gelegentliches Vorderfahrzeug 					
05: Systemgestaltung	Technische Leistungsfähigkeit	Hoch		Gering		<i>Querführung spurmittenzentriert ausgelegt</i>	
	Systemzuverlässigkeit	Hoch		Gering			
	Systemumfang	Aut. Quer-und Längsführung		Aut. Spurwechsel		Aut. Anpassung an Speed Limits Minimum-Risk-Manöver	
06: Mensch-Maschine-Schnittstelle	Kommunikationskanal	Visuell		Akustisch		Haptisch	
	Inhalt Übernahmeaufforderung	Übernahmeerfordernis	Übernahmegrund	Übernahmestort	Handlungsempfehlung	Zeit bis zur Übernahme	:
		<i>Visuell-akustische Anzeige des Übernahmeerfordernisses (Symbol, Farbigkeit, Warnton) als Minimalanforderung</i>					

	Inhalt sonstige Anzeigen	Zustands- anzeige	Dynami- sches Um- feld	Vorschau über auto- mat. Fahr- abschnitte	Systemzu- verlässig- keit	..	<i>Visuelle Zustandsanzeige als Minimalanforde- rung</i>					
07: Fahrerzustand		Wach/fit	Müde/ schläfrig	Abgelenkt	Unter Substanz- einfluss		<i>Über Instruktion sicherstellen, dass Fahrer die FFT auch bearbeiten, v. a. wichtig für den Mo- ment der Übernahmeaufforderung</i>					
08: Fahrfremde Tätigkeiten	Art	Realistisch			Artifizuell			<i>Da besser zu kontrollieren</i>				
	Modalität	Visuell	Motorisch		Kognitiv							
	Komplexität	Gering	Mittel		Hoch							
	Motivation	Gering			Hoch			<i>Im Idealfall intrinsisch; Extrinsisch über mone- tären Anreiz oder Wahlfreiheit steigerungsfähig</i>				
	Steuerung	Selbstgetaktet			Fremdgetaktet			<i>Sowohl bzgl. Entscheidung zur Beschäftigung als auch Interaktionsgeschwindigkeit</i>				
	Darbietungsfrequenz	Kontinuierlich			Intermittierend			<i>Zur Vermeidung von Frustration oder Langeweile</i>				
09a: Prüfzenario für Studien zur Übernahme- leistung	Art der Situation	Hindernis	Scharfe Kurve	Baustelle	Fehlende Spur- markierungen	Stau	Einscherendes Fahrzeug	Wetter	Ende der ODD	Sensorausfall	Keine besonderen Gründe	
	Komplexität	Gering				Hoch				<i>z. B. durch zusätzlichen Verkehr erzielbar</i>		
	Zeitkritikalität	Gering				Hoch						
	Erforderliche Fahrerreaktion	Lenken/ Ausweichen		Bremsen		Geschwindig- keit halten		Monitorieren				

	Häufigkeit	Gering			Hoch			<i>Eher gering, jedoch Wiederholungsmessung sinnvoll; Erste Übernahme-situation erst nach ca. 10 Minuten Fahrt mit System, Abstand zwischen Übernahmen ca. 10 Minuten</i>
09b: Prüf-szenario für Studien zum Erleben des aktiven Systems		Aktivierung	Deaktivierung	Transitionen	Längeres Fahren mit System	Interaktion mit Anderen	Manuelle Abschnitte	
10a: Abhängige Variablen: Maße der Übernahme-leistung	Übernahme-geschwindigkeit	Blickreaktionszeit		Hands-On-Zeit		Übernahmezeit		
	Übernahmequalität	Maße der Längs-regulation	Maße der Quer-regulation	Anzahl Kollisionen	Geschwin-digkeits-verhalten	Art der Reaktion		
	Subjektive Bewertung der Übernahme-situation	Situationskritikalität		Workload durch Übernahme		Situation Awareness		
10b: Abhängige Variablen: Maße für Fokus auf Fahren mit dem System	Maße der Systembewertung	Vertrauen	Akzeptanz	Usability	Mode Awareness	User Experience	Systemwissen / Mental Model	<i>Mode Awareness v.a. bei Mixed-Level- Systemen über Online-Befragung; Für Akzeptanz: Van-der-Laan-Skala, für Usability: SUS-Skala, für Trust: z. B. von Jian et al., 2000; Systemwissen in Nachbefragung über systemspezifische Fragen</i>
	Sonstige Maße	Müdigkeitsmaße	Physiologische Maße (EKG, EEG)	Blickverteilung	Maße der Nebenaufgabe	Bedienmaße	Maße für Motion Sickness	Manuelle Fahrleistung

4 Inhaltliche Schwerpunkte

Im Folgenden werden die dargelegten Empfehlungen für eine Standarduntersuchungsanordnung aus den vorherigen Kapiteln für spezifische und mit dem Arbeitskreis ausgewählte Fragestellungen definiert. Dazu werden die jeweils anzupassenden relevanten Module diskutiert. Für die übrigen Module gelten die Empfehlungen aus den vorangegangenen Kapiteln. Es ist wichtig anzumerken, dass die Auswahl dieser Fragestellungen exemplarisch zu verstehen ist. Sie sollen darstellen, wie die Methode in der Anwendung sinnvoll eingesetzt werden kann, um spezielle Forschungsfragen zu untersuchen.

Kapitel 4.1 beschäftigt sich mit Fragestellungen, bei denen die Untersuchung der Übernahmefähigkeit im Rahmen von L3-automatisierten Systemen im Vordergrund steht². In Kapitel 1.1 werden Fragestellungen behandelt, bei denen das Fahren mit aktivem System und dessen Erleben im Fokus steht.

4.1 Übernahmefähigkeit an Systemgrenzen

4.1.1 Welches Zeitbudget benötigt der Fahrer für eine sichere Übernahme in Abhängigkeit verschiedener fahrfremder Tätigkeiten?

Die Freisetzung von Ressourcen für die Beschäftigung mit anderen Tätigkeiten als der Fahrzeugführung stellt einen der Hauptanreize der Nutzung des hochautomatisierten Fahrens dar. Die Übernahmezeit des Fahrers in Abhängigkeit fahrfremder Tätigkeiten ist (bzw. war in den vergangenen Jahren) eine der wichtigsten Forschungsfragestellungen im Rahmen von L3-Untersuchungen und bildet die Grundlage für die Entscheidung, wie viel Zeit dem Fahrer zur Verfügung gestellt werden muss, damit er sicher die Kontrolle übernehmen kann. Das erforderliche Zeitbudget des Fahrers stellt auch auf der Entwicklerseite ein wichtiges Kriterium zur Auslegung von L3-Fahrzeugsensorik dar, da es vorgibt, wie weit die Vorausschau des automatisierten Fahrzeugs gehen muss, damit der Fahrer noch angemessen reagieren kann. Bei einer Inkongruenz von benötigter Zeit und technisch zur Verfügung stehender Zeit kann es von Seiten des Gesetzgebers auch um die Frage gehen, ob die Ausführung bestimmter FFT beim automatisierten Fahren letztendlich erlaubt sein wird oder nicht.

Gegenstand des Forschungsinteresses war selten der Zeitbedarf einer einzelnen, klar umrissenen FFT. Vielmehr zielten Untersuchungen in diesem Zusammenhang darauf, die Bandbreite von Übernahmezeiten abzudecken und möglicherweise universelle Aufgabenmerkmale zu identifizieren, welche sich günstig oder weniger günstig auf die Übernahmedauern auswirken.

² Über 70 % der in der Datenbank gelisteten experimentellen Studien haben das Fahren mit L3-Systemen zum Thema (298 der 412 gelisteten experimentellen Studien). Davon beschäftigten sich 225 mit Fragen, die das Fahrerverhalten bei Übernahmesituationen untersuchen (75 %).

4.1.1.1 Stand der Literatur

Abschnitt 3.8 befasste sich mit den verschiedenen FFT und gab auf Basis der existierenden Literatur Empfehlungen für die Verwendung von Aufgaben, wenn deren Variation nicht im Vordergrund der Untersuchung steht. Von 178 gesammelten L3-Studien mit Übernahmeaufforderung, welche die Übernahmezeit in Abhängigkeit einer FFT gemessen haben, verglichen 17 Studien unterschiedliche Modalitäten der fahrfremden Tätigkeiten (10 %). Die Modalität erwies sich dabei in der Mehrzahl der Studien als relevante Einflussgröße auf die Übernahmezeiten. Wandtner, Schmidt, Schömig & Kunde (2018) zeigten beispielsweise, dass eine akustisch-vokale Aufgabe die Übernahmeleistung kaum beeinträchtigte (kein signifikanter Unterschied zur Baseline ohne FFT). Eine visuell-motorische Aufgabe beeinträchtigte die Übernahmeleistung am stärksten, besonders wenn dafür ein Eingabegerät in der Hand gehalten werden musste. Auch Roche, Somieski & Brandenburg (2018) fanden, dass eine visuelle FFT die Übernahmezeiten stärker beeinträchtigte als eine auditive. You, Wang, Wang, Zhu & Hansen (2018) zeigten, dass die Fahrer bei Bearbeitung einer Voice-Chat-Aufgabe innerhalb von verfügbaren 6 s übernehmen konnten, während dies bei einer Leseaufgabe nicht allen Fahrern gelang, selbst wenn sie acht Sekunden zur Verfügung haben. Feldhütter, Segler & Bengler (2017) verglichen eine visuell-motorische mit einer kognitiv-auditiven Aufgabe in Bezug auf die Mode Awareness bei regelmäßigen Wechseln zwischen L2- und L3-Automation. Die kognitiv-auditive Aufgabe führte beim Fahren in L2 zu verlängerten Reaktionszeiten auf einen Automationsfehler, die visuell-auditive Aufgabe eher zu einer verringerten Überwachungsleistung.

In 15 Studien (8 %) wurde hingegen die Aufgabenkomplexität variiert (wobei es sich um eine Klassifikation handelt, wie sie von den Autoren vorgenommen wurde; z. B. Wandtner, 2018; Köhn et al., 2019; Tanshi & Söffker, 2019; Petermann-Stock, Hackenberg, Muhr & Mergl, 2013). Hier zeigte sich überwiegend ein Einfluss auf die Übernahmezeiten im Sinne einer verzögerten Übernahme, wenn die Aufgaben komplexer gestaltet waren. Zeeb et al. (2017) konnten allerdings eine Interaktion mit der Art der erforderlichen Reaktion in der Übernahme feststellen. Bei einer komplexen kognitiven Aufgabe reagierten Fahrer nicht zwingend schlechter, wenn sie nur bremsen mussten, im Vergleich zu einem komplexeren Ausweichmanöver. Zehn Studien (6 %) verglichen verschiedene Bedienorte der fahrfremden Tätigkeit, wobei dies häufig bedeutete, dass ein mobiles Endgerät an einem festen Ort fixiert war oder in der Hand gehalten werden musste. Die entscheidende Variable ist dadurch eher die zusätzliche motorische Komponente. In der Mehrzahl der Studien hatte dieser Faktor einen Einfluss auf die Übernahmezeiten, d. h. höhere Übernahmezeiten für in der Hand gehaltene Varianten (z. B. Zeeb et al., 2017; Wandtner, 2018; Othersen et al., 2017). Schartmüller et al. (2017) verglichen den Anzeigeort eines abzuschreibenden Texts (Windschutzscheibe vs. Head-Down-Variante) und fanden eine schnellere Übernahmezeit für die Head-Up-Variante. Allerdings resultierte diese Variante in einer schlechteren Schreibleistung.

Lediglich drei Studien verglichen unterschiedliche Motivationszustände zur Aufgabenbearbeitung. Jarosch, Kuhnt, Paradies & Bengler (2017) operationalisierten den Motivationszustand durch die Verwendung einer monotonen Vigilanzaufgabe, die geringe Motivation hervorrufen sollte, und einer aktivierenden Aufgabe, die zu hoher Motivation führen sollte. Radlmayr, Fischer & Bengler (2019) versuchten durch die Möglichkeit zur freien Auswahl einer von drei FFT (SuRT, n-back, motorische Aufgabe) eine höhere Bearbeitungsmotivation zu erzeugen als wenn eine dieser Aufga-

ben fest vorgegeben wird. Befelein et al. (2018) variierten die Motivation zur Bearbeitung einer Tetris- Aufgabe durch unterschiedliche monetäre Anreize. Keine der Studien fand jedoch gravierende Belege für einen Einfluss dieses Merkmals auf Übernahmezeiten.

Eine Studie verglich darüber hinaus unterschiedliche Unterbrechungsaufwände der FFT und fand einen deutlichen Einfluss dieses Merkmals auf die Übernahmezeiten (Befelein et al., 2018). Studien, in denen bewusst die Art der Initiierung der Aufgabe (fahrerinitiiert oder selbstinitiiert) variiert wurde, finden sich in der Literaturdatenbank keine, eben so wenig wie Studien, die die Steuerung der Aufgabengeschwindigkeit explizit untersuchen.

Ein Review von Zhang, de Winter, Varotto, Happee & Martens (2018) fasst neben anderen Aspekten der Übernahmesituation die relevanten Einflussfaktoren der FFT auf die Übernahmezeiten übersichtlich zusammen. Als größter Einflussfaktor wurde dabei der Umstand festgestellt, ob ein mobiles Endgerät für die Bearbeitung einer Aufgabe in der Hand gehalten wird oder nicht, d. h. der motorische und damit verknüpfte Zeitaufwand, um das Gerät wegzulegen und anschließend das Lenkrad zu greifen und eine entsprechende Übernahmereaktion auszuführen.

4.1.1.2 Empfehlung

Bezüglich der Aufgabenmodalität lassen sich begründete Aussagen treffen: Vor allem der visuelle und der motorische Aufwand einer fahrfremden Tätigkeit bewirken eine verlängerte Reaktionszeit bei einer Kontrollübernahme. Entsprechend sind Bedienorte, die für den Fahrer aus seiner normalen Sitzposition schwer zu erreichen sind und die Notwendigkeit, einen Gegenstand in der Hand zu halten, negativ zu bewerten. Zu weiteren Einflussfaktoren, wie der Motivation zur Bearbeitung einer Aufgabe und damit verbunden beispielweise die Schwierigkeit, sich im Fall einer Übernahmeaufforderung von dieser zu lösen, gibt es bislang eher wenige Aussagen. Eng damit verknüpft ist die Frage, inwieweit das strategische Aufgabenmanagement für selbstinitiierte und selbstgetaktete Aufgaben besser vom Fahrer gestaltet werden kann als wenn Aufgaben fremdinitiiert und nicht steuerbar sind (z. B.: Beginnt ein Fahrer noch mit einer Aufgabe, wenn er beispielsweise weiß, dass er gleich wieder manuell fahren muss bzw. wie lange bearbeitet er vor einer Übernahmeaufforderung eine Aufgabe noch weiter, bevor er sie eventuell zu einem sinnvollen Zeitpunkt unterbricht?). In diesem Zusammenhang wären sowohl Faktoren wie die Unterbrechbarkeit, die Komplexität, die Initiierung und Taktung einer Aufgabe, aber auch Einflussfaktoren der Übernahmesituation selbst zu variieren (wie z. B. die Vorhersehbarkeit durch beispielsweise eine langfristige Ankündigung der Übernahmeaufforderung; siehe Holländer & Pfleging, 2018). Aufgrund der notwendigen Mehrfachmessung wird die Frequenz der Übernahmen zwangsläufig höher ausfallen.

Um übrige Einflussfaktoren konstant zu halten, wie z. B. die Aufgabenkomplexität, wird empfohlen, eine artifizielle visuell-manuelle FFT zu verwenden, anhand derer sich die interessierenden Variablen gezielt variieren lassen, z. B. das Schreiben von vorgegebenen Texten. Relevante Maße sind neben den bereits berichteten Maßen der Übernahmeleistung dann solche, die sich auf die Interaktion mit der Nebenaufgabe beziehen, wie beispielsweise der Zeitpunkt, an dem diese unter- bzw. abgebrochen wird.

Nur wenn Interesse an einer ganz bestimmten Aufgabe besteht, für die beantwortet werden soll, welche Auswirkungen sie auf die Übernahmeleistung hat – beispielsweise um bewerten zu können,

ob sie während des automatisierten Fahrens erlaubt sein sollte –, sollte diese mit ihren realistischen Charakteristika untersucht und mit einer Baseline ohne Nebenaufgabe verglichen werden.

4.1.1.3 Relevante Modulvariationen

Entscheidend für die Fragestellung ist die sinnvolle Auswahl verschiedener Dimensionen der FFT als relevante Modulvariation (Modul 08). Zudem sind Variationen im Modul Übernahme-situation (Modul 09a) und die Erfassung besonderer sonstiger Maße (Modul 10b) zu empfehlen. Für alle weiteren Module gelten die allgemeinen Empfehlungen aus Kapitel 3.

Tabelle 3 zeigt die empfohlenen Modulvariationen für Forschungsfrage 1. Für alle anderen, nicht aufgelisteten Module gelten die Empfehlungen für die Standardausprägung aus Tabelle 2.

Tabelle 3: Empfohlene Modulvariationen (grün markiert) für Forschungsfrage 1. Rot markiert sind die zu variierenden Modulausprägungen.

Anzupassende Module		Modulausprägungen					
08: Fahrfremde Tätigkeiten	Art	Realistisch			Artifizuell		
	Modalität	Visuell	Motorisch		Kognitiv		
	Komplexität	Gering	Mittel		Hoch		
	Motivation	Gering			Hoch		
	Steuerung	Selbstgetaktet			Fremdgetaktet		
	Darbietungs-frequenz	Kontinuierlich			Intermittierend		
09a: Prüfszenario für Studien zur Übernahme-leistung	Art der Situation	...					
	Komplexität	Gering			Hoch		
	Zeitkritikalität	Gering			Hoch		
	Erforderliche Fahrerreaktion	Lenken/ Ausweichen	Bremsen		Geschw. halten	Monitorieren	
	Häufigkeit	Gering			hoch		
10b: Maße mit Fokus auf Fahren mit dem System	Sonstige Maße	⋮	⋮	Blickverteilung	Maße der Nebenaufgabe	⋮	⋮

4.1.2 Wie sollte eine Übernahmeaufforderung gestaltet sein, damit der Fahrer an Systemgrenzen sicher und komfortabel übernehmen kann?

Übernahmeaufforderungen an L3-Systemgrenzen müssen verschiedenen Anforderungen genügen. An vorderster Stelle stehen hier Sicherheitsaspekte – der Fahrer muss in kürzester Zeit erfassen können, was an der Systemgrenze geschehen muss und welche Rolle ihm dabei zukommt, damit weder er noch andere Verkehrsteilnehmer gefährdet werden. Zudem sollte die Kontrollübergabe aber auch in einer für den Fahrer angenehmen Weise erfolgen (Stichwort Nutzerakzeptanz; siehe

Naujoks, Wiedemann & Schömig, 2017). Der Erfüllungsgrad dieser Anforderungen an Übernahmeaufforderungen hängt wesentlich von der Ausgestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle ab und ist daher häufig Untersuchungsgegenstand in diesem Forschungsbereich.

4.1.2.1 Stand der Literatur

Insgesamt beschäftigten sich 58 % der experimentellen L3-Studien (130 von 225), in denen Übernahmeaufforderungen untersucht werden, mit Fragen der HMI-Gestaltung. Die dabei variierten Faktoren sind vielfältig. 16 Studien verglichen unterschiedliche HMI-Modalitäten miteinander, überwiegend visuelle und akustische Komponenten, weniger haptische. Nahezu alle verfügbaren Studien zeigten einen deutlichen Einfluss der unterschiedlichen Modalitäten auf die verschiedensten objektiven und subjektiven Parameter dahingehend, dass zusätzliche akustische Signale die Übernahmeschnelligkeit erhöhen. Auch Variationen innerhalb derselben Modalitäten wurden vorgenommen: 12 Studien verglichen verschiedene visuelle HMI-Ausprägungen miteinander (z. B. Schömig et al., 2018: zusätzliche AR-Elemente im Vergleich zur reinen Anzeige im Kombiinstrument; Schartmüller et al. 2018: Head-Up- vs. Head-Down-Anzeigen; Langlois & Soualmi, 2016: Vergleich AR vs. klassisches HUD-Display). Fünf Studien verglichen verschiedene akustische HMI-Ausprägungen miteinander (z. B. Jeon, 2019; Hester, Lee & Dyre, 2017: Vergleich von Sound vs. unspezifische Sprachausgabe vs. spezifische Sprachausgabe; Forster, Naujoks, Neukum & Huestegge, 2017: Vergleich generischer Ton vs. zusätzliche Sprachausgabe). Die Studien zeigten, dass auch die konkrete HMI-Ausgestaltung innerhalb einer Modalität einen Einfluss auf Übernahmekriterien und Bewertungen haben kann. So konnten Forster et al. (2017) beispielsweise zeigen, dass Fahrer zusätzliche Sprachausgaben bevorzugten und sich diese in der Reaktionszeit bis zur Verarbeitung der Informationen (z.B. Hands-On-Zeiten, Zeit bis zur Beendigung einer Nebenaufgabe) positiv auswirkten.

Weitere fünf Studien beschäftigten sich mit der Frage, inwieweit die zusätzliche Anzeige der aktuellen Systemzuverlässigkeit einen Vorteil für die Übernahmefähigkeit bietet (z. B. Wright, Agrawal, Samuel, Wang, Zilberstein & Fisher, 2018; Rezvani et al., 2016; van der Heiden et al., 2014). Fünf Studien reicherten das HMI durch eine dynamische Umfelderkennung an (Köhn et al., 2019; Cohen-Lazry, Katzman, Borowsky & Oron-Gilad, 2018; Rezvani et al., 2016). Holländer & Pflöging (2018) sowie Wandtner (2018) untersuchten, inwieweit eine längere Vorausschau über Abschnitte mit der Möglichkeit zum automatisierten Fahren und manuelle Abschnitte die Übernahmefähigkeit erhöhen kann.

Weitere Studien beschäftigten sich mit der Frage, welche zusätzlichen Informationen über die reine Anzeige, dass der Fahrer übernehmen muss, gegeben werden sollten, um die Übernahme sicher, effizienter bzw. komfortabler zu machen. Dies betrifft beispielsweise die Darstellung des Ortes des Übernahmegrundes (z. B. Cohen-Lazry et al., 2018 über einen direktionalen taktilen Reiz), die erforderliche Handlung (n = 8 Studien; z. B. Utsumi, Kawanishi, Nagasawa, Satou, Uchikata & Hagita, 2018 über die Darstellung eines Pfeils, um die erforderliche Lenkrichtung anzuzeigen; Eriksson, Petermeijer, Zimmerman, De Winter, Bengler & Stanton, 2017 u.a. mittels AR-Elementen, die die zu befahrene Fahrbahn oder die zu vermeidende Fahrbahn farblich markierten). Der Einfluss der Vorausschau auf bevorstehende Übernahmen wurde von Lu et al. (2019) und Kasuga, Tanaka, Miyaoka & Ishikawa (2018) untersucht.

Mit der Variation des Timings der Übernahmeaufforderung vor einer Systemgrenze beschäftigten sich eine Reihe von Studien (n = 13; z. B. Gold et al., 2018; Larsson, 2017; Blanco et al., 2016).

4.1.2.2 Empfehlung

Aus Expertensicht und vor dem Hintergrund der vorliegenden Literatur ist der Einfluss der Modalität zu dieser Fragestellung bereits ausreichend thematisiert worden. Auch für die Tatsache, dass Übernahmeaufforderungen multimodal gestaltet werden sollten, finden sich zahlreiche Belege. Daher sollte das Basis-HMI für derartige Fragestellungen aus der etablierten Kombination von visuellen und akustischen Reizen bestehen. Noch offene Fragen betreffen eher die konkrete Ausgestaltung der visuellen und akustischen Komponenten (z. B. ob HUD- oder AR-Elemente die Übernahmefähigkeit im Gegensatz zu klassischen Head-Down-Anzeigen verbessern können) oder ob zusätzliche Sprachausgaben auch negative Auswirkungen mit sich bringen können. Insofern sollte methodisch ein konkreter Vergleich zwischen einer klassischen Basisvariante und einer Variante mit alternativer Darbietungsform stattfinden und die objektive Übernahmeleistung sowie die Fahrerakzeptanz erfasst werden.

Eine weitere Fragestellung betrifft den Nutzen zusätzlicher Inhalte außer der bloßen Information zur Kontrollübernahme, die dem Fahrer kommuniziert werden müssen, damit er angemessen, sicher und komfortabel die Fahrzeugkontrolle übernehmen kann (wie beispielsweise Countdowns oder Art der erforderlichen Handlung). Hier ist zu empfehlen, als Kontrollbedingung eine Basisvariante mit einer Variante zu vergleichen, die diese zusätzlichen Informationen beinhaltet, um zu prüfen, ob sich daraus Vorteile in der Übernahmeleistung ergeben. Neben den reinen Reaktionszeitmaßen erscheint auch die Art der Reaktion als relevantes Maß. Um zu prüfen, wie sich solche spezifischen Informationen auswirken, muss die Übernahmesituation entsprechend dahingehend variiert werden, dass beispielsweise die räumliche Position der Systemgrenze (z. B. ein Hindernis auf der eigenen Spur mit der Notwendigkeit zu überholen vs. auf dem Pannestreifen mit der Forderung, weiterzufahren) wechselt oder unterschiedliche Reaktionen zu erwarten sind (z. B. Hindernis mit zusätzlichem Verkehr auf den Nachbarspuren erfordert Bremsen, Hindernis ohne zusätzlichen Verkehr auf der Nachbarspur erfordert Ausweichen). Auch die Zeitkritikalität der Situation sollte entsprechend variiert werden, wenn die Frage nach einer frühzeitigen Ankündigung einer bevorstehenden Übernahmeaufforderung im Vordergrund steht (z. B. Wandtner, 2018).

4.1.2.3 Relevante Modulvariationen

Die sinnvolle Variation der HMI-Gestaltung (Modul 6) im Fahrzeuginnenraum ist das relevante Modul für die genannte Fragestellung, das entsprechend methodisch zu diskutieren ist. Zudem empfiehlt sich eine gezielte Variation des Übernahmeszenarios (Modul 9a). Für alle weiteren Module gelten die allgemeinen Empfehlungen aus Kapitel 3.

Tabelle 4 zeigt die empfohlenen Modulvariationen für Forschungsfrage 2. Für alle anderen, nicht aufgelisteten Module gelten die Empfehlungen für die Standardausprägung aus Tabelle 2.

Tabelle 4.: Empfohlene Modulvariationen (grün markiert) für Forschungsfrage 2. Rot markiert sind die zu variierenden Modulausprägungen.

Anzupassende Module		Modulausprägungen					
06: Mensch-Maschine-Schnittstelle	Kommunikationskanal	Visuell		Akustisch		Haptisch	
	Inhalt Übernahmeaufforderung	Übernahmeerfordernis	Übernahmegrund	Ort der Systemgrenze	Handlungsempfehlung	Zeit bis Übernahme	...
	Inhalt sonstige Anzeigen	Zustandsanzeige	Dynamisches Umfeld	Vorschau u. automatisierte Fahrabschnitte	Systemzuverlässigkeit	...	
09a: Prüfzenario für Studien zur Übernahmeleistung	Art der Situation	...					
	Komplexität	Gering			Hoch		
	Zeitkritikalität	Gering			Hoch		
	Erforderliche Fahrerreaktion	Lenken/Ausweichen	Bremsen	Geschw. halten	Monitorieren		
	Häufigkeit	Gering			Hoch		

4.1.3 Wie reagieren müde Fahrer auf Übernahmeaufforderungen?

Beim Fahren mit automatisierten Systemen der Stufe 3 ist es nicht mehr notwendig, das System und die Fahraufgabe dauerhaft zu überwachen – schlafen darf der Fahrer jedoch nicht, da er an Systemgrenzen immer noch die Rückfallebene des Systems darstellt und in der Lage sein muss, die Fahraufgabe innerhalb weniger Sekunden zu übernehmen. Problematisch ist jedoch, dass gerade auf dieser Automationsstufe das Risiko besonders hoch ist, dass der Fahrer durch seinen passiven Zustand ermüdet, zumindest wenn er keine zusätzliche fahrfremde Tätigkeit ausführt. In diesem Zusammenhang ist zum einen von Interesse, welche potenziell negativen Effekte Müdigkeit auf die Übernahmefähigkeit des Fahrers hat. Darüber hinaus ist aus methodischer Sicht interessant, wie die Müdigkeit des Fahrers während des Fahrens erfasst werden kann. Dies ist auch vor dem Hintergrund geeigneter Fahrerüberwachungssysteme relevant, um anschließend effiziente Gegenmaßnahmen zu entwickeln, durch welche Müdigkeit verhindert oder der Fahrer „zurück in den Loop“ gebracht werden kann. Um den Zustand experimentell untersuchen zu können, müssen zudem sinnvolle Methoden der Erzeugung von Müdigkeit betrachtet werden.

4.1.3.1 Stand der Literatur

17 experimentelle L3-Studien mit Übernahmesituationen (8 %) beschäftigten sich mit müden Fahrern, davon einige nur mit Fragen der Erfassung der Müdigkeit. In zwölf Studien konnten explizit die Art der Müdigkeitsinduktion, die Dauer der Fahrten und die Auswirkungen auf die Übernahmeleistung ermittelt werden. In elf dieser zwölf Publikationen wurde Müdigkeit über die Fahrdauer erzeugt. Dabei wurden Fahrtzeiten von mindestens 50 Minuten (Jarosch, Bellem & Bengler, 2019)

bis zu 3 h berichtet (Schmidt, Braunagel, Stolzmann & Karrer-Gauß, 2016; Schmidt et al., 2017; Schmidt, 2018). Vier Studien verwendeten eine Fahrtdauer von 60 Minuten. Auch Feldhütter, Kroll & Bengler (2018) empfehlen dies als sinnvolle Fahrtdauer. Drei Studien verwendeten zusätzlich eine monotone Nebenaufgabe, um die Müdigkeit weiter zu erhöhen (Feldhütter, Hecht, Kalb & Bengler, 2019; Jarosch et al., 2019; Vogelpohl, Kühn, Hummel & Vollrath, 2019). Drei Studien verwendeten darüber hinaus Schlafdeprivation als weiteres müdigkeitserhöhendes Mittel (Kreuzmair, Gold & Meyer, 2017; Schömig, Hargutt, Neukum, Petermann-Stock & Othersen, 2015; Vogelpohl et al., 2019, alternativ zur Fahrtdauer) sowie die Tageszeit, d. h. das Fahren in den frühen Morgenstunden (Feldhütter et al., 2018; Schömig et al., 2015). Der alleinige Gebrauch einer monotonen FFT und eine kürzere Fahrtdauer von 25 Minuten führten bei Jarosch & Bengler (2018) ebenfalls zu bedeutsamen Müdigkeitseffekten.

Die gefundenen Auswirkungen auf die Übernahmeleistung ergeben ein uneinheitliches Bild: Drei der Studien, die Ergebnisse berichten, zeigten einen negativen Einfluss von Müdigkeit auf die Übernahmefähigkeit (Jarosch et al., 2019; Vogelpohl et al., 2018), jedoch eher bei durch Schlafentzug erzeugter als durch die Länge der Fahrtdauer erzeugter Müdigkeit (Kreuzmair et al., 2017). Die übrigen sieben Studien fanden keinen derartigen Einfluss (z. B. Feldhütter et al., 2018 und 2019; Schmidt, 2016, 2017 und 2018; Naujoks et al., 2018; Jarosch et al., 2017).

Die meisten der berichteten Studien lösten nach einer bestimmten Zeit eine Übernahmearaufforderung aus. Aufgrund der großen interindividuellen Varianz in der Entstehung und Entwicklung von Müdigkeit kann bei einem solchen Vorgehen allerdings nicht sichergestellt sein, dass zum Zeitpunkt der Übernahmesituation wirklich alle Fahrer müde waren. Sie könnten sich unter Umständen auch in verschiedenen Stufen der Müdigkeit befunden haben. Daher empfehlen Schömig et al. (2015) einen zustandsabhängigen Versuchsplan zur Untersuchung von Müdigkeitseffekten auf die Übernahmeleistung. Bei einem derartigen Vorgehen fahren die Fahrer unterschiedlich lange (ca. 1.5 bis 2.5 h), bis sie einen gewünschten Müdigkeitszustand erreichen (vigilanzgemindert, leicht müde, sehr müde, kurz vor dem Einschlafen), woraufhin dann die Übernahmesituation ausgelöst wird. Kreuzmair et al. (2017) fanden mit diesem Ansatz einen Zusammenhang zwischen Übernahmeleistung und Müdigkeit, Feldhütter et al. (2018) dagegen nicht.

Ein wichtiger Punkt betrifft die Messung von Müdigkeit. In der überwiegenden Zahl der Studien wird sie mittels Lidschluss-Metriken realisiert, beispielsweise anhand des Anteils geschlossener Augenlider pro Zeit mit der sog. PERCLOS-Metrik (Knippling & Wierwille, 1994), über Parameter des EOG (Schmidt, 2016, 2017 und 2018) oder anhand komplexer Lidschluss-Algorithmen (Hargutt, 2003). Als subjektives Maß für die Müdigkeit wird sehr häufig die 10-stufige KSS verwendet (Åkerstedt & Gillberg, 1990).

4.1.3.2 Empfehlung

In Übereinstimmung mit der Literatur empfiehlt es sich für die genannte Fragestellung, Müdigkeit durch gezielte Maßnahmen zu induzieren. Dabei kann eine Kombination von langen L3-Fahrten (minimale Dauer ca. 60 Minuten), am besten in einer Nachtumgebung mit schlafdeprivierten Probanden (z. B. Probanden dürfen nicht vor 12 Uhr ins Bett) in den Morgenstunden (Startzeit ca. 6 Uhr), eingesetzt werden. Monotone FFT können das Auftreten von Müdigkeit zusätzlich beschleunigen.

nigen (z. B. der akustische MacWorth-Clock-Test, in dem man auf das Ausbleiben von Tönen, die in einer regelmäßigen Frequenz vorgegeben werden, reagieren muss).

In Bezug auf die Messung von Müdigkeit werden kamerabasierte Lidschlussmetriken empfohlen (z. B. PERCLOS, Lidschlussalgorithmus nach Hargutt, 2003), die auch online zur zustandsbasierten Triggerung von Übernahme-situationen genutzt werden können. Auch eine expertenbasierte Beurteilung der Müdigkeit anhand von Fahrverhalten, Mimik und Gestik (z. B. Gähnen, sich wiederholt ins Gesicht fassen etc.) ist denkbar (siehe Vogelpohl et al., 2018). Subjektive Selbsteinschätzungsmaße wie z. B. die Karolinska Sleepiness Scale (KSS, Åkerstedt & Gillberg, 1990) sind einfach anzuwenden, können jedoch die zeitlich sehr variable Entwicklung von Müdigkeit nicht abbilden. Zudem stellt die Müdigkeitsabfrage eine (u. U. aktivierende) Unterbrechung des Versuchsablaufes dar. Die KSS sollte somit lediglich als Ergänzung von objektiven Messmethoden zur Prä-/Post-Messung von Müdigkeit dienen. Um sicherzustellen, dass beispielsweise im Moment der Übernahmeaufforderung alle Probanden einen vergleichbaren Müdigkeitslevel aufweisen, kann es von Vorteil sein, diese für jeden Probanden individuell erst bei Erreichen des jeweiligen Levels auszugeben (Stichwort: Zustandsabhängiger Versuchsplan, siehe Schömig et al., 2015). Für die Bewertung der Übernahmeleistung ist es sinnvoll, diese als Baseline im Wachzustand des Fahrers zu ermitteln. Aufgrund der Tatsache, dass jede Übernahmeaufforderung den Fahrer wieder wach macht und daher die Entwicklung der Müdigkeit verzögert bzw. gehemmt wird, ist eine sehr geringe Frequenz von Übernahme-situationen zu wählen. Auch auf sonstige Interaktionen mit dem System, die den Fahrer aktivieren könnten, sollte nach Möglichkeit verzichtet werden.

4.1.3.3 Relevante Modulvariationen

Der Fahrerzustand (Modul 07) und speziell innerhalb dessen die Müdigkeit des Fahrers ist das zentrale Modul für die genannte Fragestellung. Methodisch ist vor allem die Frage zu diskutieren, wie dieser Zustand experimentell erzeugt und dann gemessen werden kann. In diesem Zusammenhang spielt auch die Ausgestaltung der Fahrscenarien (Modul 09b) eine Rolle.

Zudem sind besondere Anforderungen an die Versuchsplanung gestellt, um sicherzustellen, dass jeweils ein vergleichbarer Ausgangszustand für alle Probanden besteht (stellt kein eigenes Modul in diesem Bericht dar). Für alle weiteren Module gelten die allgemeinen Empfehlungen aus Kapitel 3.

Tabelle 5 zeigt die empfohlenen Modulvariationen für Forschungsfrage 3. Für alle anderen, nicht aufgelisteten Module gelten die Empfehlungen für die Standardausprägung aus Tabelle 2.

Tabelle 5: Empfohlene Modulvariationen (grün markiert) für Forschungsfrage 3. Rot markiert sind die zu variierenden Modulusprägungen.

Anzupassende Module		Modulusprägungen						
07: Fahrerzustand		Wach/fit	Müde/schläfrig	Abgelenkt	Unter Substanzeinfluss			
09a: Prüfzenario für Studien zur Übernahmeleistung (zustandsabhängig getriggert)	Art der Situation	...						
	Komplexität	Gering			Hoch			
	Zeitkritikalität	Gering			Hoch			
	Erforderliche Fahrerreaktion	Lenken/Ausweichen	Bremsen	Geschw. halten	Monitorieren			
	Häufigkeit	Gering			Hoch			
09b: Prüfzenario für Studien zum Erleben des aktiven Systems		Aktivierung	Deaktivierung	Transitionen	Längeres Fahren mit System	Interaktion anderen	Manuelle Abschnitte	
10b: Maße für Fokus auf Fahren mit dem System	Sonstige Maße	Müdigkeitsmaße	Physiologische Maße	Blickverteilung	Maße der FFT	Bedienmaße	Maße für Motion Sickness	Manuelle Fahrleistung

4.2 System-Erleben

Die in den vorangegangenen Abschnitten thematisierte Frage der Übernahmefähigkeit und damit der Sicherheit bzw. Kontrollierbarkeit der Systeme bildet eindeutig den Forschungsschwerpunkt in L3-Studien. Demgegenüber stehen eine Reihe weiterer Fragestellungen, die andere Charakteristika der Systembewertung betreffen, wie den Fahrkomfort, Systemakzeptanz, Systemvertrauen oder Mode Awareness. Auch längerfristige Auswirkungen des automatisierten Fahrens, wie mögliche Verhaltensanpassungen im manuellen Fahren oder die Entwicklung von Motion Sickness und deren Vermeidung, werden zukünftig im Fokus der Forschung stehen.

4.2.1 Welchen Fahrstil sollte ein automatisiertes Fahrzeug aufweisen?

Eine beispielhafte Fragestellung bezüglich der Systemgestaltung ist, welchen Fahrstil ein automatisiertes System haben sollte. Wenn Fahrer selbst fahren, unterscheiden sie sich beispielsweise dahingehend, welche Quer- und Längsabstände sie zu anderen Fahrzeugen bzw. zu Begrenzungen der eigenen Fahrspur einhalten und welche Quer- und Längsbeschleunigungen sie akzeptieren (z. B. beim Beschleunigen oder Bremsen bzw. in Kurven). Aus verkehrspsychologischer Perspektive werden u. a. ein offensiver und ein defensiver Fahrstil unterschieden. Weitere Merkmale beschreiben z. B. den Grad des vorausschauenden Fahrens (z. B. frühzeitiges vom-Gas-gehen bei roter Ampel oder Vergrößerung des Folgeabstands, wenn das Vorderfahrzeug durch Blinken einen Abbiegevorgang ankündigt).

In Bezug auf automatisierte Systeme stellt sich nun die Frage, ob dort ähnlich unterschiedliche Fahrstile umgesetzt werden sollen bzw. welcher Fahrstil von Fahrern hier eher gewünscht wird. Darüber hinaus ist von Interesse, inwieweit Fahrer ein eher natürliches Fahrverhalten des Systems (z. B. sanftes „Hineinsegeln“ in oder „Hinausbeschleunigen“ aus Ortschaften) oder ein eher regelkonformes (d. h. exaktes Einhalten der Straßenverkehrsordnung – 50 km/h am Ortsschild) akzeptieren. Hinzu kommt, dass der Fahrstil, den ein Fahrer im manuellen Fahren pflegt, von ihm nicht zwangsläufig auch im L3-automatisierten Fahren akzeptiert wird, z. B. da dieser unter Blickabwendung zu Unwohlsein führen kann.

4.2.1.1 Stand der Literatur

Lediglich sechs der experimentellen L3-Studien variierten aktiv den Fahrstil von L3-Systemen. Variiert wurden dabei die folgenden Faktoren: Die Offensivität bzw. Defensivität des Fahrstils des automatisierten Fahrzeugs und dessen Passung mit dem eigenen offensiven vs. defensiven Fahrstil des Fahrers (Basu, Yang, Hungerman, Sinahal & Draqan, 2017), der Grad der Standardisierung des Fahrstils zwischen „Ideallinie“ und zufälligen Schwankungen (Schneider, 2017), der Grad der Kooperativität beim Einfädeln (Zimmermann, Fahrmeier & Bengler, 2015) oder das Altersstereotyp des Fahrstils zwischen typisch junglichem Fahrstil und typischem Seniorenfahrstil (Hartwich, Beggiano, Dettmann & Krems, 2015). Bellem, Thiel, Schrauf & Krems (2018) verglichen drei Fahrstilvarianten des automatisierten Fahrzeugs anhand des Verhaltens in Spurwechselsituationen,

beim Beschleunigen und Verzögern. Walker, Verwey & Martens (2018) verglichen Systeme mit unterschiedlicher Spurhaltegröße und Bremskomfort.

Als abhängige Maße wurden typischerweise subjektive Maße wie Komfort, Fahrspaß, Akzeptanz, User Experience, Systemvertrauen, aber auch Motion Sickness verwendet (Bellem et al., 2018). Zur Aufteilung der Fahrergruppen nach spezifischen Persönlichkeitseigenschaften oder Fahrstil kamen vorab entsprechende Fragebögen zum Einsatz (z. B. Multidimensional Driving Style Inventory, Sensation Seeking Scale; Locus of Control).

4.2.1.2 Empfehlung

Für den Vergleich verschiedener Fahrstile müssen gezielt Charakteristika des Fahrzeugs, wie Stärke und Zeitpunkt von Beschleunigungen und Verzögerungen, variiert werden. Als geeignete Szenarien erweisen sich solche, in denen sich Interaktionen mit anderen Fahrern ergeben, wie beispielsweise Folge- oder Spurwechselszenarien. Zusätzlich zum längeren Fahren mit System sollte vorab eine manuelle Fahrt stattfinden, in der der natürliche Fahrstil des Fahrers in vergleichbaren Fahrsituationen erfasst werden kann.

Zudem empfiehlt sich die Vorabauswahl bestimmter Fahrergruppen oder eine Gruppierung der Stichprobe nach bestimmten Persönlichkeitsmerkmalen, wie Fahrstil oder Sensation Seeking, über entsprechende Fragebögen. Relevante Maße sind vor allem subjektive Maße der Akzeptanz und Vertrauen, aber auch – in Abhängigkeit der Fragestellung – die objektive Deckung des eigenen mit dem Fahrstil des Systems über eine Erfassung von entsprechenden Parametern wie Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten.

4.2.1.3 Relevante Modulvariationen

Um derartige Fragestellungen beantworten zu können, muss der Fahrstil des Fahrzeugs als Teil des Moduls 05 „Systemgestaltung“ explizit variiert werden. In Bezug auf relevante Fahrscenarien ist das Modul 09b (Szenarien mit Fokus auf Fahren mit aktivem System) anzupassen. Auch die relevanten Maße unterscheiden sich von denen der Basisanordnung (siehe Modul 10b). Eventuell gilt es, spezifische Fahrergruppen in Bezug auf Persönlichkeitseigenschaften zu untersuchen (Modul 01 Stichprobe). Für alle weiteren Module gelten die allgemeinen Empfehlungen aus Kapitel 3.

Tabelle 6 zeigt die empfohlenen Modulvariationen für Forschungsfrage 3. Für alle anderen, nicht aufgelisteten Module gelten die Empfehlungen für die Standardausprägung aus Tabelle 2.

Tabelle 6: Empfohlene Modulvariationen für Forschungsfrage 4 – rot markiert sind die zu variierenden Modulausprägungen.

Anzupassende Module		Modulausprägungen					
01: Stichprobe	...						
	Probanden- gruppe	Normalbevölkerung			Mitarbeiter		
05: System- gestaltung					
	System- umfang	Autom. Quer- und Längs- führung	Autom. Spur- wechsel	Autom. An- passung an Speed Limits	Minimum- Risk-Manöver		
09b: Prüfzenario für Studien zum Erleben des aktiven Systems		Aktivierung	Deaktivie- rung	Transitionen	Längeres Fahren mit System	Interaktion mit Anderen	Manuelle Abschnitte
10b: Maße für Fokus auf Fah- ren mit dem System	Maße für Systembewer- tung	Vertrauen	Akzeptanz	Usability	Mode Awareness	User Experi- ence	System- wissen/ Men- tales Modell
	Sonstige Maße	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	Manuelle Fahrleistung

4.2.2 Wie kann Mode Confusion des Fahrers in Systemen mit mehreren Automatisierungsstufen verhindert werden?

Während der Fahrer bei automatisierten Systemen der Stufe 2 nach wie vor die Aufgabe hat, das System und die Verkehrsumgebung dauerhaft zu überwachen, ist dies auf Level 3 nicht mehr erforderlich. Allerdings werden immer wieder Systeme diskutiert, die in entsprechenden Phasen oder Situationen, in denen aufgrund der notwendigen technischen Voraussetzungen kein Fahren in L3 möglich ist, eine systeminitiierte Herabstufung auf L2 vornehmen (z. B. beim Wechsel von der Autobahn auf die Landstraße oder aufgrund von schlechten Wetterverhältnissen und eingeschränkter Sensorik). Ziel hierbei ist, eine übermäßige Anzahl von Übernahmesituationen auf L0 zu verhindern. Auch aus Fahrersicht kann es sinnvoll sein, von L3 auf L2 zu wechseln, z. B. wenn auf L3 nur mit bestimmten Geschwindigkeiten gefahren werden darf. In Systemen mit mehreren Automationsstufen (sog. Mixed-Level-Systeme) ist die Aufrechterhaltung von Mode Awareness, d. h. das Wissen um den aktuellen Systemzustand besonders wichtig. Andernfalls kann es zur sogenannten Mode Confusion kommen, d. h. der Fahrer verliert das Bewusstsein über den tatsächlichen Systemzustand (Sarter & Woods, 1995).

4.2.2.1 Stand der Literatur

Bislang beschäftigten sich nur wenige Studien mit Systemen, in denen Fahrer zwischen den Automationsstufen L2 und L3 hin und her wechseln können. Einige Studien untersuchten beispielswei-

se, welche Effekte Überwachungsaufforderungen unmittelbar vor einer Übernahmeaufforderung (sog. monitoring requests, die einer Rückstufung auf L2 gleichkommen) auf das Überwachungsverhalten von L3-Fahrern haben (z. B. Feldhütter, Segler & Bengler, 2017; Lu et al., 2019). Als Möglichkeit zur Verringerung von Mode Confusion wurde ebenfalls der Einsatz interaktiver im Vergleich zu klassischen Bedienungsanleitungen vor der Fahrt untersucht (Forster, Hergeth, Naujoks, Krems & Keinath, 2019). Andere Studien variierten hingegen die Systemlogik als Ganzes, teilweise mit komplexen Konzepten zur geteilten Fahrzeugkontrolle zwischen Fahrzeug und Fahrer (Baltzer, Flemisch, Altendorf & Meier, 2014; Flemisch, Kaussner, Petermann, Schieben & Schömig, 2011; Meyer, von Spee, Altendorf & Flemisch, 2018; Petermann, 2011). Feldhütter et al. (2017 und 2018) untersuchten explizit die Auswirkungen vorab definierter Mixed-Level-Systeme mit L2 und L3 auf Mode Awareness. In der Veröffentlichung von 2017 wurde ein Konzept mit nur einer Automationsstufe (L2) und mit einem Konzept, das zwischen L2 und L3 wechselte, verglichen. Letzteres führte zu einer erhöhten Mode Confusion, gemessen anhand der Reaktionsleistung auf Automationsfehler und die Leistung in der zu bearbeitenden Nebenaufgabe in L2. Ein adaptives HMI konnte dies nicht verhindern. In der Veröffentlichung von 2018 untersuchten Feldhütter et al., ob eine manuelle Fahrt zwischen einem Wechsel von L3 auf L2 die Mode Confusion verringern kann. Mode Awareness wurde hier über die angemessene Überwachung der Fahraufgabe (Blickzuwendung zu fahrrelevanten Blickbereichen) und eine qualitative Analyse der Fahreraussagen in einem Interview nach der Fahrt ermittelt. In den L2-Fahrten ergab sich eine reduzierte Überwachungsleistung, die sich laut Meinung der Autoren allerdings aus einem „zu gut gestalteten“ L2-System ergab, d. h. aus der experimentellen Anordnung heraus erklärt werden musste.

4.2.2.2 Empfehlung

Aus eigener Erfahrung mit Studien zu diesem Themenbereich werden von den Autoren die folgenden Empfehlungen für experimentelle Studien zu dieser Fragestellung gegeben: Zum einen muss eine Versuchsstrecke erstellt werden, in der es regelmäßig zu Transitionen zwischen den Automatisierungsstufen kommt. Diese können einerseits vom System getriggert werden, z. B. aufgrund eines spezifischen Szenarios, das einen Grund für eine Transition beispielsweise von L3 auf L2 gibt (z. B. aufkommender Nebel oder das Abfahren von der Autobahn). Ein derartiger Grund ist allerdings nicht zwingend erforderlich (vergleiche hierzu die Empfehlungen für eine Versuchsanordnung für Studien zur Absicherung von HMI für automatisierte Fahrzeuge gemäß NHTSA aus Naujoks et al., 2019). Andererseits kann der Fahrer auch direkt instruiert werden, fahrerinitiierte Transitionen von L3 auf L2 und umgekehrt durchzuführen. Auf Basis dieser Strecke können dann verschiedene HMI-Konzepte miteinander verglichen werden. Eine Rolle bei der Aufrechterhaltung von Mode Awareness spielt die Kommunikation des Übergangs von L3 auf L2 und damit die sich verändernde Verantwortlichkeit des Fahrers für die Überwachungsaufgabe. Hier können Ansätze wie die Anreicherung klassischer Zustandsanzeigen um weitere visuelle Elemente, wie Lenkrad-LEDs oder zusätzliche Sprachausgaben, untersucht werden.

Die Ermittlung der Mode Awareness muss online während der Fahrt erfolgen, da es – im Gegensatz zum mentalen Modell oder Systemwissen – um die Erfassung des aktuellen Zustandswissens geht. Sie kann sowohl indirekt über die Beobachtung des Fahrerverhaltens bei Transitionen (z. B.: Bemerkt der Fahrer einen systeminitiierten Zustandswechsel?) oder während des Fahrens in einem

Zustand über die Interaktion mit einer FFT oder dem Hands-On-Verhalten (Ist der Fahrer sich bewusst, dass er gerade in L2 fährt und daher die Hände am Lenkrad lassen muss bzw. keine FFT bearbeiten darf?) erfasst werden, aber auch durch direkte Befragung, in welchem Zustand sich das System aktuell befindet etc.

4.2.2.3 Relevante Modulvariationen

Die Kommunikation des jeweils aktuellen Systemzustands und der damit verbundenen Verantwortlichkeiten ist in gemischten Systemen mit verschiedenen Automationsstufen (z. B. L1, L2 und L3) besonders wichtig. Entsprechend steht die adäquate Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (und der Systemlogik als Ganzes) im Fokus dieser Fragestellung und muss im experimentellen Versuch variiert werden (Modul 06). Des Weiteren muss eine geeignete Auswahl der Szenarien stattfinden (Modul 09b), anhand derer mit spezifische Maßen Mode Awareness erfasst werden kann (Modul 10b). Für alle weiteren Module gelten die allgemeinen Empfehlungen aus Kapitel 3.

Tabelle 7 zeigt die empfohlenen Modulvariationen für Forschungsfrage 5. Für alle anderen, nicht aufgelisteten Module gelten die Empfehlungen für die Standardausprägung aus Tabelle 2.

Tabelle 7: Empfohlene Modulvariationen für Forschungsfrage 5 – rot markiert sind die zu variierenden Modulausprägungen.

Anzupassende Module		Modulausprägungen					
06: Mensch-Maschine-Schnittstelle	Kommunikationskanal	Visuell		Akustisch		Haptisch	
	...						
	Inhalt sonstige Anzeigen	Zustandsanzeige	Dynamisches Umfeld	Vorschau über automatisierte Fahrabschnitte	System-zuverlässigkeit	...	
09b: Prüfscenario für Studien zum Erleben des aktiven Systems		Aktivierung	Deaktivierung	Transitionen	Längeres Fahren mit System	Interaktion mit Anderen	Manuelle Abschnitte
10b: Maße für Fokus auf Fahren mit dem System	Maße der Systembewertung	Vertrauen	Akzeptanz	Usability	Mode Awareness	User Experience	Systemwissen/ Mentales Modell

4.2.3 Wie wirkt sich automatisiertes Fahren auf Fahrverhalten und Fahrqualität während manueller Fahrt aus?

Eine der wichtigsten Determinanten der menschlichen Fahrleistung ist die Fahrpraxis (Grattenthaler & Krüger, 2009). Die zunehmende Unterstützung oder Automatisierung von bisherigen Aufga-

ben des Fahrers wirft deshalb die Frage auf, ob und in welchem Maße hierdurch (v. a. durch Übungsverlust) Fertigkeitseinbußen während rein manueller Fahrten entstehen, die aufgrund der Beschränkung von L3-Funktionen auf bestimmte ODDs immer noch vorkommen werden.

4.2.3.1 Stand der Literatur

Von den gesammelten experimentellen L3-Studien beschäftigten sich sieben Studien mit den längerfristigen Auswirkungen automatisierten Fahrens auf das manuelle Fahrverhalten (z. B. Brandenburg & Skottke, 2014; Schmidt, Dreißig, Stolzmann & Rötting, 2017; Skottke, Debus, Wang & Huestegge, 2014). Hierbei fand häufig zunächst eine manuelle Baseline-Messung der relevanten Fahrparameter (wie beispielsweise die Spurposition oder Folgeabstände) statt. Danach folgte ein längerer automatisierter Fahrabschnitt, bevor wieder ein Wechsel zurück zum manuellen Fahren erfolgte. In diesem manuellen Abschnitt wurden die kontinuierlichen Fahrparameter (z. B. die gefahrenen Folgeabstände oder Parameter der Spurposition) oder die Fahrerreaktion auf unvorhergesehene Ereignisse (z. B. ein Stauende) gemessen und die Ergebnisse mit der Baseline-Messung verglichen.

4.2.3.2 Empfehlung

Das dreistufige Vorgehen einer Baseline-Messung, einer längeren Automationsfahrt, und schließlich einer manuellen Testfahrt ist eine sinnvolle Herangehensweise an die Fragestellung. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die Baseline-Messung mit der Testfahrt möglichst gut vergleichbar ist und z. B. nicht von unzureichender Simulatorgewöhnung beeinträchtigt wird. Generell sollte jedoch beachtet werden, dass sich im Rahmen von zeitlich begrenzten Simulatorstudien auch nur zeitlich begrenzte Automationsabschnitte und deren Wirkungen untersuchen lassen. Langfristige Effekte zunehmender Fahrzeugautomation auf die Fahrerfertigkeiten lassen sich nur in Studien mit deutlich größerem zeitlichen Horizont adressieren. Hierbei empfehlen sich Langzeitstudien mit Wiederholungsmessungen über mehrere Sitzungen und Wochen. Als relevante Maße können dann neben Verhaltensänderungen auch die langfristige Entwicklung von Systemakzeptanz und Vertrauen erfasst werden.

4.2.3.3 Relevante Modulvariationen

Spezifische Anpassungen für diese Fragestellungen sind im Modul Prüfzenario (Modul 09b) sowie für die abhängigen Variablen (Modul 10b) vorzunehmen. Für alle weiteren Module gelten die allgemeinen Empfehlungen aus Kapitel 3.

Tabelle 8 zeigt die empfohlenen Modulvariationen für Forschungsfrage 6. Für alle anderen, nicht aufgelisteten Module gelten die Empfehlungen für die Standardausprägung aus Tabelle 2.

Tabelle 8: Empfohlene Modulvariationen für Forschungsfrage 6 – rot markiert sind die zu variierenden Modulausprägungen.

Anzupassende Module		Modulausprägungen					
09b: Prüfzenario für Studien zum Erleben des aktiven Systems		Aktivierung	Deaktivierung	Transitionen	Längeres Fahren mit System	Interaktion mit Anderen	Manuelle Abschnitte
10b: Maße für Fokus auf Fahren mit dem System	Maße der Systembewertung	Vertrauen	Akzeptanz	Usability	Mode Awareness	User Experience	Systemwissen/ Mentales Modell
	Sonstige Maße	Manuelle Fahrleistung

5 Fazit

Ziel des Projekts war die Entwicklung eines modularen Ansatzes für die Bewertung der Übernahmefähigkeit von Fahrern und anderer relevanter Aspekte für das automatisierte Fahren auf Stufe 3, welcher in diesem Bericht vorgestellt wird. Unter Modulen werden Methodenbausteine verstanden, die in ihrer Kombination für die Konzeption einer experimentellen Studie in der Fahrsimulation relevant sind. Insgesamt wurden zehn Module definiert, wie beispielsweise die zu wählende Stichprobe, die Streckencharakteristika, die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle, und die Wahl geeigneter Prüfscenarien und abhängiger Variablen. In einem ersten Schritt wurde für jedes dieser zehn Module eine Basisausprägung empfohlen, die für eine Standard-Studienanordnung verwendet werden kann.

In einem weiteren Schritt wurden exemplarisch für spezifische Fragestellungen im Bereich der Human-Factors-Forschung (Teilbereich 1: Studien zur Untersuchung der Übernahmefähigkeit an Systemgrenzen bei L3-Systemen sowie Teilbereich 2: Studien mit dem Fokus auf längeren Fahrten mit aktivem L3-System) konkrete Spezifikationen ausgearbeitet, wie methodische Aspekte (Modulausprägungen) gezielt angepasst und variiert werden müssen.

Die Empfehlungen wurden auf Basis des aktuellen Forschungsstands auf dem jeweiligen Themengebiet und auf Basis der Bewertung von Human-Factors-Experten in diesem Gebiet getroffen. Der aktuelle Wissensstand zu den methodischen Empfehlungen stützt sich dabei auf die im Projekt entwickelte Literaturdatenbank zum Themengebiet Human Factors beim automatisierten Fahren ab Level 2. Diese enthält zum aktuellen Zeitpunkt der Berichtserstellung (September 2019) 569 relevante Publikationen aus den Jahren 1998 bis 2019.

Mit diesem modularen Ansatz wird ein Tool bereitgestellt, das potenziellen Anwendern einen methodischen Leitfadens zur Konzeption experimenteller Studien im Fahrsimulator bietet. Stehen dem Anwender die Module wie beispielsweise Prüfscenarien, Verkehrsumgebungen, fahrfremde Tätigkeiten, und Messverfahren als implementierte Simulationselemente zur Verfügung, so kann er sich die benötigten Elemente für seine spezifische Fragestellung zusammenstellen und daraus eine geeignete Versuchsanordnung ableiten.

6 Literatur

- Abraham, H., Lee, C., Brady, S., Fitzgerald, C., Mehler, B., Reimer, B., & Coughlin, J. F. (2016). Autonomous vehicles, trust, and driving alternatives: A survey of consumer preferences. MIT AgeLab White Paper No. 2016-6. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Åkerstedt, T., & Gillberg, M. (1990). Subjective and objective sleepiness in the active individual. *International Journal of Neuroscience*, 52(1-2), 29-37.
- Baltzer, M., Flemisch, F., Altendorf, E., & Meier, S. (2014). Mediating the interaction between human and automation during the arbitration processes in cooperative guidance and control of highly automated vehicles. Paper presented at the Proceedings of the 5th international conference on applied human factors and ergonomics AHFE, 8.
- Basu, C., Yang, Q., Hungerman, D., Sinahal, M., & Drağan, A. D. (2017). Do you want your autonomous car to drive like you? Paper presented at the 2017 12th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI).
- Befelein, D., Boschet, J., & Neukum, A. (2018). Influence of non-driving-related tasks' motivational aspects and interruption effort on driver take-over performance in conditionally automated driving. In: Victor T., Bruyas M.P., Regan M., Brusque C., Fort A. and Jallais C. (Eds.), 2018. Proceedings of the 6th Driver Distraction and Inattention conference, Gothenburg, Sweden, October 15-17, 2018 (online).
- 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., Hartwich, F., Schleinitz, K., Krems, J., Othersen, I., & Petermann-Stock, I. (2015). What would drivers like to know during automated driving? Information needs at different levels of automation. doi: 10.13140/RG.2.1.2462.6007.
- Bellem, H., Thiel, B., Schrauf, M., & Krems, J. F. (2018). Comfort in automated driving: An analysis of preferences for different automated driving styles and their dependence on personality traits. *Transportation research part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 55, 90-100. doi:10.1016/j.trf.2018.02.036
- Bencloucif, A. M., Nguyen, A. T., Sentouh, C., & Popieul, J. C. (2019). Cooperative trajectory planning for haptic shared control between driver and automation in highway driving. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(12), 9846-9857. doi:10.1109/TIE.2019.2893864
- Berghöfer, F., Purucker, C., Naujoks, F., Wiedemann, K., & Marberger, C. (2018). Prediction of Take-over Time Demand in Conditionally Automated Driving-Results of a Real World Driving Study. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe.
- Blanco, M., Atwood, J., Vasquez, H. M., Trimble, T. E., Fitchett, V. L., Radlbeck, J., Fitch, G. M., & Russell, S. M. (2016). Automated vehicles: take-over request and system prompt evaluation. In G. Meyer, S. Beiker (Eds.), *Road Vehicle Automation 3* (pp. 111-119). Cham, Springer.
- Blömacher, K., Nöcker, G., Huff, M. (2018). The role of system description for conditionally automated vehicles. *Transport Research Part F* 54, 159-170
- Blommer, M., Curry, R., Swaminathan, R., Tijerina, L., Talamonti, W., & Kochhar, D. (2017). Driver brake vs. steer response to sudden forward collision scenario in manual and automated driving modes. *Transportation research part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 45, 93-101.
- Borojeni, S., Boll, S. C., Heuten, W., Bühlhoff, H. H., & Chuang, L. (2018, April). Feel the movement: Real motion influences responses to take-over requests in highly automated vehicles. In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (p. 1-13). ACM.

- Brandenburg, S., & Skottke, E.-M. (2014). Switching from manual to automated driving and reverse: Are drivers behaving more risky after highly automated driving? Paper presented at the 17th international IEEE conference on intelligent transportation systems (ITSC).
- Buld, S., Krüger, H.-P., Hoffmann, S., & Totzke, I. (2003). Die Fahrsimulation als Methode bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen. In VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.), *Simulation und Simulatoren - Mobilität virtuell gestalten*, VDI-Berichte Nr. 1745 (S. 153-175). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Clark, H., & Feng, J. (2016). Age differences in the takeover of vehicle control and engagement in non-driving-related activities in simulated driving with conditional automation. *Accident Analysis & Prevention*.
- Clark, H., McLaughlin, A. C., Williams, B., & Feng, J. (2017). Performance in Takeover and Characteristics of Non-driving Related Tasks during Highly Automated Driving in Younger and Older Drivers. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Cohen-Lazry, G., Katzman, N., Borowsky, A., & Oron-Gilad, T. (2018). Ipsilateral versus contralateral tactile alerts for take-over requests in highly-automated driving. Proceedings of the 6th Humanist Conference.
- Cramer, S., Kaup, I., & Siedersberger, K. H. (2019). Comprehensibility and perceptibility of vehicle pitch motions as feedback for the driver during partially automated driving. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 4(1), 3-13. doi:10.1109/TIV.2018.2886691
- Damböck, D., Farid, M., Tönert, L.; Bengler, K.: *Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren*. 5. Tagung Fahrerassistenz - Schwerpunkt Vernetzung. München: TÜV SÜD Akademie GmbH, 2012.
- de Winter, J. C., Happee, R., Martens, M. H., & Stanton, N. A. (2014). Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 196-217.
- Eriksson, A., & Stanton, N. A. (2017). Driving performance after self-regulated control transitions in highly automated vehicles. *Human factors*, 0018720817728774.
- Eriksson, A., Petermeijer, S., Zimmerman, M., De Winter, J., Bengler, K., & Stanton, N. (2017). Rolling out the red (and green) carpet: supporting driver decision making in automation to manual transitions. *IEEE Transactions on Human Machine Systems* subj. corrections.
- Feldhütter, A., Härtwig, N., Kurpiers, C., Hernandez, J. M., & Bengler, K. (2018, August). Effect on Mode Awareness When Changing from Conditionally to Partially Automated Driving. In Congress of the International Ergonomics Association (pp. 314-324). Springer, Cham.
- Feldhütter, A., Hecht, T., & Bengler, K. (2018). *Fahrerspezifische Aspekte beim hochautomatisierten Fahren*. [Driver-specific aspects in highly automated driving]. (Report No. 01698631). München, Germany: Technische Universität München.
- Feldhütter, A., Hecht, T., Kalb, L., & Bengler, K. (2019). Effect of prolonged periods of conditionally automated driving on the development of fatigue: with and without non-driving-related activities. *Cognition, Technology & Work*, 21(1), 33-40.
- Feldhütter, A., Kroll, D., & Bengler, K. (2018). Wake up and take over! The effect of fatigue on the takeover performance in conditionally automated driving. In 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 2080-2085). Maui, HI, USA: IEEE.
- Feldhütter, A., Segler, C., & Bengler, K. (2017). Does shifting between conditionally and partially automated driving lead to a loss of mode awareness? Paper presented at the International conference on applied human factors and ergonomics.
- Flemisch, F., Kaussner, A., Petermann, I., Schieben, A., & Schömig, N. (2011). HAVE-IT. Highly automated vehicles for intelligent transport. Validation of concept on optimum task repartition (Deliverable D. 33.6): Regensburg, Germany: Continental Automotive GmbH.
- 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.

- Forster, Y., Hergeth, S., Naujoks, F., & Krems, J. F. (2018). Unskilled and unaware: Subpar users of automated driving systems make spurious decisions. In *Adjunct Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 159-163). Toronto, ON, Canada: ACM. doi:10.1145/3239092.3265960
- Forster, Y., Naujoks, F., Neukum, A., & Huestegge, L. (2017). Driver compliance to take-over requests with different auditory outputs in conditional automation. *Accident Analysis & Prevention*, 109, 18-28.
- Frison, A. K., Aigner, L., Wintersberger, P., & Rienr, A. (2018). Who is Generation A?: Investigating the experience of automated driving for different age groups. In *Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 94-104). Toronto, ON, Canada: ACM. doi:10.1145/3239060.3239087
- Gevins, A.S., Cutillo, B.C. (1993). Neuroelectric evidence for distributed processing in human working memory. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 87:128-143.
- Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L., & Bengler, K. (2013). "Take over!" How long does it take to get the driver back into the loop? Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Gold, C., Happee, R., & Bengler, K. (2018). Modeling take-over performance in level 3 conditionally automated vehicles. *Accident Analysis & Prevention*, 116, 3-13. doi:10.1016/j.aap.2017.11.009
- Gold, C., Naujoks, F., Radlmayr, J., Bellem, H., & Jarosch, O. (2017). Testing scenarios for human factors research in level 3 automated vehicles. Paper presented at the International conference on applied human factors and ergonomics.
- Grattenthaler, H., & Krüger, H.-P. (2009). Bedeutung der Fahrpraxis für den Kompetenzerwerb beim Fahrenlernen: Literaturstudie.
- Hargutt, V. (2003). Das Lidschlussverhalten als Indikator für Aufmerksamkeits- und Müdigkeitsprozesse bei Arbeitshandlungen (Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 17, Nr. 233). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Hart, Sandra G.; Staveland, Lowell E. (1988). "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research" (PDF). In Hancock, Peter A.; Meshkati, Najmedin (eds.). *Human Mental Workload. Advances in Psychology*. 52. Amsterdam: North Holland. pp. 139–183. doi:10.1016/S0166-4115(08)62386-9. ISBN 978-0-444-70388-0.
- Hartwich, F., Beggiano, M., Dettmann, A., & Krems, J. F. (2015). Drive me comfortable: Individual customized automated driving styles for younger and older drivers. *Der Fahrer im 21. Jahrhundert*, 21(1), 271-283. doi:10.1207/sthf0101_7
- 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.
- Heijden, H.V. (2000). Using the Technology Acceptance Model to Predict Website Usage: Extensions and Empirical Tests.
- Hester, M., Lee, K., & Dyre, B. P. (2017). "Driver take over": A preliminary exploration of driver trust and performance in autonomous vehicles. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 61(1), 1969–1973. doi:10.1177/1541931213601971
- Holländer, K., & Pflöging, B. (2018). Preparing drivers for planned control transitions in automated cars. In *Proceedings of the 17th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (pp. 83-92). Cairo, Egypt: ACM. doi:10.1145/3282894.3282928
- Jarosch, O., & Bengler, K. (2018). Rating of Take-Over Performance in Conditionally Automated Driving Using an Expert-Rating System. Paper presented at the International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics.
- Jarosch, O., Kuhnt, M., Paradies, S., & Bengler, K. (2017). It's out of our hands now! Effects of non-driving related tasks during highly automated driving on drivers' fatigue.
- Jarosch, O., Bellem, H., & Bengler, K. (2019). Effects of task-induced fatigue in prolonged conditional automated driving. *Human factors*. doi:10.1177/0018720818816226
- Jeon, M. (2019). Multimodal displays for take-over in level 3 automated vehicles while playing a game. In *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Glasgow, Scotland Uk: ACM. doi:10.1145/3290607.3313056

- Karjanto, J., Yusof, N. M., Wang, C., Terken, J., Delbressine, F., & Rauterberg, M. (2018). The effect of peripheral visual feedforward system in enhancing situation awareness and mitigating motion sickness in fully automated driving. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 58, 678-692. doi:10.1016/j.trf.2018.06.046
- Kasuga, N., Tanaka, A., Miyaoka, K., & Ishikawa, T. (2018). Design of an HMI system promoting smooth and safe transition to manual from level 3 automated driving. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 1-12. doi:10.1007/s13177-018-0166-6
- Kerschbaum, P., Lorenz, L., & Bengler, K. (2014). Highly automated driving with a decoupled steering wheel. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Kim, J., Kim, W., Kim, H. S., & Yoon, D. (2019, April). Effectiveness of Subjective Measurement of Drivers' Status in Automated Driving. In 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall) (pp. 1-2). IEEE.
- Knapp, A., Neumann, M., Brockmann, M., Walz, R., & Winkle, T. (2009). Code of practice for the design and evaluation of ADAS. Preventive and Active Safety Applications, eSafety for road and air transport, European Commission Project, Brussels.
- Köhn, T., Gottlieb, M., Schermann, M., & Krcmar, H. (2019). Improving take-over quality in automated driving by interrupting non-driving tasks. *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces*, 510-517.
- Körber, M. (2019). Theoretical considerations and development of a questionnaire to measure trust in automation. In S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, & Y. Fujita (Eds.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018): Volume VI: Transport Ergonomics and Human Factors (TEHF), Aerospace Human Factors and Ergonomics (1st ed., pp. 13–30)*. Springer. Download: <https://osf.io/y3jn5/>
- Körber, M., Prash, L., & Bengler, K. (2018). Why do I have to drive now? Post hoc explanations of take-over requests. *Human factors*, 60(3), 305-323.
- Kreuzmair, C., Gold, C., & Meyer, M.-L. (2017). The influence of driver fatigue on take-over performance in highly automated vehicles. Paper presented at the 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) National Highway Traffic Safety Administration.
- Langlois, S., & Soualmi, B. (2016, November). Augmented reality versus classical HUD to take over from automated driving: An aid to smooth reactions and to anticipate maneuvers. In 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 1571-1578). IEEE.
- Larsson, A. F., Kircher, K., & Hultgren, J. A. (2014). Learning from experience: Familiarity with ACC and responding to a cut-in situation in automated driving. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 229-237. doi:10.1016/j.trf.2014.05.008
- Larsson A. (2017) A countdown to manual driving: How do drivers get “Back-in-the-Loop”? In: N. Stanton, S. Landry, G. Di Bucchianico, A. Vallicelli (Eds.), *Advances in Human Aspects of Transportation: Vol. 484. Advances in Intelligent Systems and Computing*(pp. 463-471). doi:10.1007/978-3-319-41682-3_39
- Lau, C. P., Harbluk, J. L., Burns, P. C., & El-Hage, Y. (2018). The influence of interface design on driver behavior in automated driving. In *CARSP: The Canadian Association of Road Safety Professionals*. Victoria, BC.
- Laugwitz, B., Schrepp, M. & Held, T. (2008). Construction and evaluation of a user experience questionnaire. In: Holzinger, A. (Ed.): *USAB 2008, LNCS 5298*, pp. 63-76.
- Lawrence, D. H. (1971). Two studies of visual search for word targets with controlled rates of presentation. *Perception & Psychophysics*, 10, 85-89.
- Lorenz, L., Kerschbaum, P., & Schumann, J. (2014). Designing take over scenarios for automated driving: How does augmented reality support the driver to get back into the loop? Paper presented at the Human Factors and Ergonomics Society 58th Annual Meeting - 2014.
- Lu, M., Blokpoel, R., & Schindler, J. (2017). Infrastructure-based cooperative, connected and automated driving in a transition phase. In 24th ITS World Conference Montréal. ITS World Congress 2017. Montréal, Canada.

- Lu, Z., Zhang, B., Feldhütter, A., Happee, R., Martens, M., & De Winter, J. (2019). Beyond mere take-over requests: The effects of monitoring requests on driver attention, take-over performance, and acceptance. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 63, 22-37.
- Madigan, R., Louw, T., & Merat, N. (2018). The effect of varying levels of vehicle automation on drivers' lane changing behaviour. *PLoS One*, 13(2). doi:10.1371/journal.pone.0192190
- Marberger, C., Mielenz, H., Naujoks, F., Radlmayr, J., Bengler, K., & Wandtner, B. (2017). Understanding and applying the concept of "driver availability" in automated driving. Paper presented at the International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics.
- Mattes, S. & Hallén, A. (2009). Surrogate distraction measurement techniques: The lane change test, in: Regan, M., Lee, J., Young, K. (Eds.), *Driver Distraction*. CRC Press, pp. 107–122.
- McCarty, M., Funkhouser, K., Zadra, J., & Drews, F. (2016). Effects of auditory working memory tasks while switching between autonomous and manual driving. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Meyer, R., von Spee, R. G., Altendorf, E., & Flemisch, F. O. (2018). Gesture-Based Vehicle Control in Partially and Highly Automated Driving for Impaired and Non-impaired Vehicle Operators: A Pilot Study. Paper presented at the International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction.
- Merat, N., Jamson, A. H., Lai, F. C., Daly, M., & Carsten, O. M. (2014). Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 274-282.
- Molnar, L. J., Pradhan, A. K., Eby, D. W., Ryan, L. H., St Louis, R. M., Zakrajsek, J. S., Ross, B., Lin, B. T., Liang, C., Zalewski, B., & Zhang, L. (2017). Age-related differences in driver behavior associated with automated vehicles and the transfer of control between automated and manual control: A simulator evaluation. (Report No. UMTRI 2017-4). Ann Arbor, MI: Mobility Transformation Center.
- Morris, D. M., Erno, J. M., & Pilcher, J. J. (2017). Electrodermal response and automation trust during simulated self-driving car use. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 61, No. 1, pp. 1759-1762). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Müller, A., Ogrizek, M., Bier, L. & Abendroth, B. (2018). Design concept for a visual, vibrotactile and acoustic take-over request in a conditional automated vehicle during non-driving-related tasks. In 6th Driver Distraction and Inattention Conference.
- Naujoks, F., Befelein, D., Wiedemann, K. & Neukum, A. (2017). A review of non-driving-related tasks used in studies on automated driving. Paper presented at the International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics.
- Naujoks, F., Forster, Y., Wiedemann, K. & Neukum, A. (2016). Speech improves human-automation cooperation in automated driving. In B. Weyers & A. Dittmar (Eds.), *Mensch und Computer 2016 – Workshopband*. Aachen: Gesellschaft für Informatik e.V.. doi:10.18420/muc2016-ws08-0007
- Naujoks, F., Höfling, S., Purucker, C. & Zeeb, K. (2018). From partial and high automation to manual driving: Relationship between non-driving related tasks, drowsiness and take-over performance. *Accident Analysis & Prevention*, 121, 28-42.
- Naujoks, F., Mai, C. & Neukum, A. (2014). The effect of urgency of take-over requests during highly automated driving under distraction conditions. *Advances in Human Aspects of Transportation: Part I*, 7, 431.
- Naujoks, F., Purucker, C. & Neukum, A. (2016). Secondary task engagement and vehicle automation—Comparing the effects of different automation levels in an on-road experiment. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 38, 67-82. doi:10.1016/j.trf.2016.01.011
- Naujoks, F., Purucker, C., Wiedemann, K. & Marberger, C. (2019). Noncritical State Transitions During Conditionally Automated Driving on German Freeways: Effects of Non-Driving Related Tasks on Takeover Time and Takeover Quality. *Human factors*, 61(4), 596-613.
- Naujoks, F., Hergeth, S., Wiedemann, K., Schömig, N., Forster Y. & Keinath, A. (2019) Test procedure for evaluating the human-machine interface of vehicles with automated driving systems, *Traffic Injury Prevention*, 20(1), pp.146-151.

- Naujoks, F., Wiedemann, K. & Schömig, N. (2017). The importance of interruption management for usefulness and acceptance of automated driving. In Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (pp. 254-263). ACM.
- Naujoks, F., Wiedemann, K., Schömig, N., Jarosch, O. & Gold, C. (2018). Expert-based controllability assessment of control transitions from automated to manual driving. *MethodsX*, 5, 579-592.
- Neukum, A., Lübbecke, T., Krüger, H.-P., Maysers, C. & Steinle, J. (2008). ACC-Stop&Go: Fahrerverhalten an funktionalen Systemgrenzen. In M. Maurer & C. Stiller (Hrsg.), *5. Workshop Fahrerassistenzsysteme - FAS2008* (S. 141-150). Karlsruhe: fmrt.
- National Highway Traffic Safety Administration (2013). Visual-manual NHTSA driver distraction guidelines for in-vehicle electronic devices (No. NHTSA-2010-0053). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- National Highway Traffic Safety Administration (2017). Federal Automated Vehicles Policy, U.S. Department of Transportation NHTSA (updated version). Voluntary Guidance for Automated Driving Systems, U.S. Department of Transportation. Retrieved from: https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/13069a-ads2.0_090617_v9a_tag.pdf
- Oliveira, L., Luton, J., Iyer, S., Burns, C., Mouzakitis, A., Jennings, P., & Birrell, S. (2018). Evaluating How Interfaces Influence the User Interaction with Fully Autonomous Vehicles. In Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (pp. 320-331). ACM.
- Othersen, I., Petermann-Stock, I., Schömig, N., Neukum, A. & Fuest, T. (2017). Cognitive Driver Take-over Capability After Piloted Driving—Method Development and Interaction with a Side Task. Paper presented at the VDI Wissensforum GmbH (publisher), VDI Congress on Electronics in Vehicles, Bonn. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Petermann, I.: Evaluation of two different transition designs for Temporary Autopilot. In: Schieben, A., Flemisch F. (eds.) HAVEit D. 33.6: Validation of Concept on Optimum Task Repartition. Confidential deliverable to the EU Commission, Brussels (2011)
- Petermann-Stock, I., Hackenberg, L., Muhr, T., & Mergl, C. (2013). Wie lange braucht der Fahrer? Eine Analyse zu Übernahmezeiten aus verschiedenen Nebentätigkeiten während einer hochautomatisierten Staufahrt. 6. Tagung Fahrerassistenzsysteme, München.
- Petermeijer, S., Bazilinskyy, P., Bengler, K., & de Winter, J. (2017). Take-over again: Investigating multimodal and directional TORs to get the driver back into the loop. *Applied Ergonomics*. 62. 204-215. 10.1016/j.apergo.2017.02.023.
- Petermeijer, S., Doubek, F., & de Winter, J. (2017). Driver response times to auditory, visual, and tactile take-over requests: A simulator study with 101 participants. In 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) (pp. 1505-1510). IEEE.
- Petersen, L., Robert, L., Yang, J., & Tilbury, D. (2019). Situational awareness, driver's trust in automated driving systems and secondary task performance. *SAE International Journal of Connected and Autonomous Vehicles*, 2(2).
- Pokam, R., Debernard, S., Chauvin, C., & Langlois, S. (2019). Principles of transparency for autonomous vehicles: first results of an experiment with an augmented reality human-machine interface. *Cognition, Technology & Work*, 1-14.
- Radlmayr, J., Bruch, K., Schmidt, K., Solbeck, C., & Wehner, T. (2018). Peripheral monitoring of traffic in conditionally automated driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 62(1), 1828-1832. doi:10.1177/1541931218621416
- Radlmayr, J., Gold, C., Lorenz, L., Farid, M., & Bengler, K. (2014). How traffic situations and non-driving related tasks affect the take-over quality in highly automated driving. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Radlmayr J., Fischer F.M., & Bengler K. (2019). The influence of non-driving related tasks on driver availability in the context of conditionally automated driving. In: S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, Y. Fujita (Eds.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association: Vol. 823. Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 295-304). Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-96074-6_32

- REPONSE Consortium. (2006). Code of practice for the design and evaluation of ADAS. RESPONSE III: a PREVENT Project.
- Rezvani, T., Driggs-Campbell, K., Sadigh, D., Sastry, S. S., Seshia, S. A., & Bajcsy, R. (2016). Towards trustworthy automation: User interfaces that convey internal and external awareness. In 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (pp. 682-688). Rio de Janeiro, Brazil: IEEE.
- Richardson, N., Flohr, L., & Michel, B. (2018). Takeover Requests in Highly Automated Truck Driving: How Do the Amount and Type of Additional Information Influence the Driver-Automation Interaction? *Multimodal Technologies and Interaction*, 2(4), 68.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Richtlinie für die Anlage von Autobahnen (2008).
- Roche, F., & Brandenburg, S. (2018). Should the urgency of auditory-tactile takeover requests match the criticality of takeover situations? In: 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 1035-1040). Maui, HI, USA: IEEE. doi: 10.1109/ITSC.2018.8569650
- Roche, F., Somieski, A., & Brandenburg, S. (2018). Behavioral changes to repeated takeovers in highly automated driving: effects of the takeover-request design and the nondriving-related task modality. *Human factors*, 61(5), 839-849. doi:10.1177/0018720818814963
- Russell, S. M., Blanco, M., Atwood, J., Schaudt, W., A., Fitchett, V. L., & Tidwell, S. (2018,). Naturalistic study of Level 2 driving automation functions (Report No. DOT HS 812 642). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- Sarter, N. B., & Woods, D. D. (1995). How in the World Did We Ever Get into That Mode? Mode Error and Awareness in Supervisory Control. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 5–19. <http://doi.org/10.1518/001872095779049516>
- Schartmüller, C., Riener, A., Wintersberger, P., & Frison, A.-K. (2018). Workaholic: on balancing typing- and handover-performance in automated driving. Paper presented at the Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services.
- Schmidt, J. (2018). Detektion der Reaktionsbereitschaft beim hochautomatisierten Fahren. Dissertation. Technische Universität, Berlin.
- Schmidt, J., Braunagel, C., Stolzmann, W., & Karrer-Gauß, K. (2016). Driver drowsiness and behavior detection in prolonged conditionally automated drives. In 2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (pp. 400-405). IEEE.
- Schmidt, J., Dreißig, M., Stolzmann, W., & Rötting, M. (2017). The Influence of Prolonged Conditionally Automated Driving on the Take-Over Ability of the Driver. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Schneider, N. (2018). Einfluss der haptischen Rückmeldung am Lenkrad auf das Fahrerverhalten bei automatischen Eingriffen in die Querführung.
- Schneider, S., Cabrall, C., Petermeijer, S., & Bengler, K. (2017). Effects of Expectation and Driving Style on Trust in Highly Automated Vehicles.
- Schömig, N., Hargutt, V., Neukum, A., Petermann-Stock, I., & Othersen, I. (2015). The interaction between highly automated driving and the development of drowsiness. Paper presented at the 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015, Las Vegas.
- Schömig, N., Wiedemann, K., Naujoks, F., Neukum, A., Leuchtenberg, B., & Vöhringer-Kuhnt, T. (2018). An Augmented Reality Display for Conditionally Automated Driving. Paper presented at the Adjunct Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications.
- Schwarz, C., Brown, T., Gaspar, J., & Keum, C. (2017). Transfer from highly automated to manual control: performance and trust. In 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV).
- Schwarz, C., Gaspar, J., & Brown, T. (2019). The effect of reliability on drivers' trust and behavior in conditional automation. *Cognition, Technology & Work*, 21(1), 41-54. doi:10.1007/s10111-018-0522-y

- Skottke, E.-M., Debus, G., Wang, L., & Huestegge, L. (2014). Carryover effects of highly automated convoy driving on subsequent manual driving performance. *Human factors*, 56(7), 1272-1283.
- Smyth, J., Jennings, P., Mouzakitis, A., & Birrell, S. (2018). Too sick to drive: How motion sickness severity impacts human performance. In 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 1787-1793). Maui, HI, USA: IEEE. doi:10.1109/ITSC.2018.8569572
- Stapel, J., Mullakkal-Babu, F. A., & Happee, R. (2019). Automated driving reduces perceived workload, but monitoring causes higher cognitive load than manual driving. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 60, 590-605. doi:10.1016/j.trf.2018.11.006
- Stephan, A. (2019). Trust in highly automated driving. Dissertation. Technische Universität, Berlin.
- Tabachnick, B. G., Fidell, L. S., & Ullman, J. B. (2007). *Using multivariate statistics* (Vol. 5). Boston, MA: Pearson.
- Tanshi, F., & Söffker, D. (2019). Modeling drivers' takeover behavior depending on the criticality of driving situations and the complexity of secondary tasks. In 2019 IEEE Conference on Cognitive and Computational Aspects of Situation Management (CogSIMA) (pp. 67-73). Las Vegas, NV, USA. doi:10.1109/COGSIMA.2019.8724304
- Tijerina, L., Blommer, M., Curry, R., Swaminathan, R., Kochhar, D. S., & Talamonti, W. (2016). An exploratory study of driver response to reduced system confidence notifications in automated driving. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 1(4), 325-334.
- Utsumi, A., Kawanishi, N., Nagasawa, I., Satou, K., Uchikata, K., & Hagita, N. (2018). Impact of directive visual information on driver's emergency behavior. *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 287-292. doi:10.1145/3122986.3122993
- van der Heiden, R., Iqbal, S. T., & Janssen, C. P. (2017). Priming drivers before handover in semi-autonomous cars. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 392-404). Denver, Colorado, USA: ACM. doi:10.1145/3025453.3025507
- van der Laan, J.D., Heino, A., & De Waard, D. (1997). A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, 5, 1-10.
- Vogelpohl, T., Kühn, M., Hummel, T., & Vollrath, M. (2019). Asleep at the automated wheel—Sleepiness and fatigue during highly automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 126, 70-84.
- Walch, M., Mühl, K., Baumann, M., & Weber, M. (2018). Click or Hold: Usability Evaluation of Maneuver Approval Techniques in Highly Automated Driving. In *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (p. LBW090). ACM.
- Walker, F., Verwey, W. V., & Martens, M. (2018). Gaze behaviour as a measure of trust in automated vehicles. *Proceedings of the the 6th Humanist Conference, Netherlands*.
- Wandtner, B. (2018). Non-driving related tasks in highly automated driving-Effects of task characteristics and drivers' self-regulation on take-over performance. Dissertation.
- Wandtner, B., Schmidt, G., Schoemig, N., & Kunde, W. (2018). Non-driving related tasks in highly automated driving-Effects of task modalities and cognitive workload on take-over performance. In *AmE 2018-Automotive meets Electronics; 9th GMM-Symposium* (pp. 1-6). Dortmund, Germany: VDE.
- Wandtner, B., Schömig, N., & Schmidt, G. (2018). Effects of Non-Driving Related Task Modalities on Takeover Performance in Highly Automated Driving. *Human factors*, 0018720818768199.
- Ward, C., Raue, M., Lee, C., D'Ambrosio, L., & Coughlin, J. F. (2017). Acceptance of automated driving across generations: The role of risk and benefit perception, knowledge, and trust. In M. Kurosu (Ed.), *Human-Computer Interaction. User Interface Design, Development and Multimodality: Vol. 10271. Lecture Notes in Computer Science* (pp. 254-266). doi:10.1007/978-3-319-58071-5_20
- Weller, G., Schnabl, R., Strümpfer, C., & Möller, L. (2019). Gurtbasierte, taktile Rückmeldekonzepte in Übernahme-situationen beim automatisierten Fahren. Paper presented at the 12. VDI-Tagung Fahrzeugsicherheit. Fahrzeugsicherheit im Umfeld von neuen Rating- und Gesetzesanforderungen, Berlin.

- Wiedemann, K., Naujoks, F., Wörle, J., Kenntner-Mabiala, R., Kaussner, Y., & Neukum, A. (2018). Effect of different alcohol levels on take-over performance in conditionally automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 115, 89-97.
- Willemsen, D., Stuiver, A., & Hogema, J. (2014). Transition of control: automation giving back control to the driver. *Advances in Human Aspects of Transportation: Part I* (pp.451-459).
- Winner, H., Hakuli, S., & Wolf, G. (Eds.). (2009). *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort: mit 550 Abbildungen und 45 Tabellen*. Springer-Verlag.
- Wintersberger, P., Frison, A. K., Riemer, A., & Sawitzky, T. V. (2019). Fostering user acceptance and trust in fully automated vehicles: Evaluating the potential of augmented reality. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, 27(1), 46-62. doi:10.1162/pres_a_00320
- Wright, T. J., Agrawal, R., Samuel, S., Wang, Y., Zilberstein, S., & Fisher, D. L. (2018). Effective cues for accelerating young drivers' time to transfer control following a period of conditional automation. *Accident Analysis & Prevention*, 116, 14-20. doi:10.1016/j.aap.2017.10.005
- Yang, Y., Karakaya, B., Dominioni, G. C., Kawabe, K., & Bengler, K. (2018). An HMI Concept to Improve Driver's Visual Behavior and Situation Awareness in Automated Vehicle. In 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 650-655). IEEE.
- Yoon, S. H., Kim, Y. W., & Ji, Y. G. (2019). The effects of takeover request modalities on highly automated car control transitions. *Accident Analysis & Prevention*, 123, 150-158.
- You F., Wang Y., Wang J., Zhu X., & Hansen P. (2018). Take-over requests analysis in conditional automated driving and driver visual research under encountering road hazard of highway. In: I. Nunes (Ed.), *Advances in Human Factors and Systems Interaction: Vol. 592. Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp.230-240). Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-60366-7_22
- Zhang, B., de Winter, J. C. F., Varotto, S. F., Happee, R., & Martens, M. (2018). Determinants of takeover time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. *Transportation Research Part F*, 64, 285-307.
- Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2015). What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 78, 212-221.
- Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2016). Is take-over time all that matters? The impact of visual-cognitive load on driver take-over quality after conditionally automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 92, 230-239.
- Zeeb, K., Härtel, M., Buchner, A., & Schrauf, M. (2017). Why is steering not the same as braking? The impact of non-driving related tasks on lateral and longitudinal driver interventions during conditionally automated driving. *Transportation research part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 50, 65-79.
- Zimmermann, M., Fahrmeier, L., & Bengler, K. J. (2015). A Roland for an Oliver? Subjective perception of cooperation during conditionally automated driving. In 2015 International conference on collaboration technologies and systems (CTS) (pp. 57-63). IEEE.

Bisher in der FAT-Schriftenreihe erschienen (ab 2014)

Nr.	Titel
263	Laserstrahlschweißen von Stahl an Aluminium mittels spektroskopischer Kontrolle der Einschweißtiefe und erhöhter Anbindungsbreite durch zweidimensional ausgeprägte Schweißnähte, 2014
264	Entwicklung von Methoden zur zuverlässigen Metamodellierung von CAE Simulations-Modellen, 2014
265	Auswirkungen alternativer Antriebskonzepte auf die Fahrdynamik von PKW, 2014
266	Entwicklung einer numerischen Methode zur Berücksichtigung stochastischer Effekte für die Crashsimulation von Punktschweißverbindungen, 2014
267	Bewegungsverhalten von Fußgängern im Straßenverkehr - Teil 1, 2014
268	Bewegungsverhalten von Fußgängern im Straßenverkehr - Teil 2, 2014
269	Schwingfestigkeitsbewertung von Schweißnahtenden MSG-geschweißter Feinblechstrukturen aus Aluminium, 2014
270	Physiologische Effekte bei PWM-gesteuerter LED-Beleuchtung im Automobil, 2015
271	Auskunft über verfügbare Parkplätze in Städten, 2015
272	Zusammenhang zwischen lokalem und globalem Behaglichkeitsempfinden: Untersuchung des Kombinationseffektes von Sitzheizung und Strahlungswärmeübertragung zur energieeffizienten Fahrzeugklimatisierung, 2015
273	UmCra - Werkstoffmodelle und Kennwertermittlung für die industrielle Anwendung der Umform- und Crash-Simulation unter Berücksichtigung der mechanischen und thermischen Vorgeschichte bei hochfesten Stählen, 2015
274	Exemplary development & validation of a practical specification language for semantic interfaces of automotive software components, 2015
275	Hochrechnung von GIDAS auf das Unfallgeschehen in Deutschland, 2015
276	Literaturanalyse und Methodenauswahl zur Gestaltung von Systemen zum hochautomatisierten Fahren, 2015
277	Modellierung der Einflüsse von Porenmorphologie auf das Versagensverhalten von Al-Druckgussteilen mit stochastischem Aspekt für durchgängige Simulation von Gießen bis Crash, 2015
278	Wahrnehmung und Bewertung von Fahrzeugaußengeräuschen durch Fußgänger in verschiedenen Verkehrssituationen und unterschiedlichen Betriebszuständen, 2015
279	Sensitivitätsanalyse rollwiderstandsrelevanter Einflussgrößen bei Nutzfahrzeugen – Teil 3, 2015
280	PCM from iGLAD database, 2015
281	Schwere Nutzfahrzeugkonfigurationen unter Einfluss realitätsnaher Anströmbedingungen, 2015
282	Studie zur Wirkung niederfrequenter magnetischer Felder in der Umwelt auf medizinische Implantate, 2015
283	Verformungs- und Versagensverhalten von Stählen für den Automobilbau unter crashartiger mehrachsiger Belastung, 2016
284	Entwicklung einer Methode zur Crashsimulation von langfaserverstärkten Thermoplast (LFT) Bauteilen auf Basis der Faserorientierung aus der Formfüllsimulation, 2016
285	Untersuchung des Rollwiderstands von Nutzfahrzeugreifen auf realer Fahrbahn, 2016

- 286 χ MCF - A Standard for Describing Connections and Joints in the Automotive Industry, 2016
- 287 Future Programming Paradigms in the Automotive Industry, 2016
- 288 Laserstrahlschweißen von anwendungsnahen Stahl-Aluminium-Mischverbindungen für den automobilen Leichtbau, 2016
- 289 Untersuchung der Bewältigungsleistung des Fahrers von kurzfristig auftretenden Wiederübernahmesituationen nach teilautomatischem, freihändigem Fahren, 2016
- 290 Auslegung von geklebten Stahlblechstrukturen im Automobilbau für schwingende Last bei wechselnden Temperaturen unter Berücksichtigung des Versagensverhaltens, 2016
- 291 Analyse, Messung und Optimierung des Ventilationswiderstands von Pkw-Rädern, 2016
- 292 Innenhochdruckumformen laserstrahlgelöteter Tailored Hybrid Tubes aus Stahl-Aluminium-Mischverbindungen für den automobilen Leichtbau, 2017
- 293 Filterung an Stelle von Schirmung für Hochvolt-Komponenten in Elektrofahrzeugen, 2017
- 294 Schwingfestigkeitsbewertung von Nahtenden MSG-geschweißter Feinbleche aus Stahl unter kombinierter Beanspruchung, 2017
- 295 Wechselwirkungen zwischen zyklisch-mechanischen Beanspruchungen und Korrosion: Bewertung der Schädigungsäquivalenz von Kollektiv- und Signalformen unter mechanisch-korrosiven Beanspruchungsbedingungen, 2017
- 296 Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstraßeninfrastruktur, 2017
- 297 Analyse zum Stand und Aufzeigen von Handlungsfeldern beim vernetzten und automatisierten Fahren von Nutzfahrzeugen, 2017
- 298 Bestimmung des Luftwiderstandsbeiwertes von realen Nutzfahrzeugen im Fahrversuch und Vergleich verschiedener Verfahren zur numerischen Simulation, 2017
- 299 Unfallvermeidung durch Reibwertprognosen, 2017
- 300 Thermisches Rollwiderstandsmodell für Nutzfahrzeugreifen zur Prognose fahrprofilspezifischer Energieverbräuche, 2017
- 301 The Contribution of Brake Wear Emissions to Particulate Matter in Ambient Air, 2017
- 302 Design Paradigms for Multi-Layer Time Coherency in ADAS and Automated Driving (MULTIC), 2017
- 303 Experimentelle Untersuchung des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheit von Scheiben auf die Kondensatbildung, 2017
- 304 Der Rollwiderstand von Nutzfahrzeugreifen unter realen Umgebungsbedingungen, 2018
- 305 Simulationsgestützte Methodik zum Entwurf intelligenter Energiesteuerung in zukünftigen Kfz-Bordnetzen, 2018
- 306 Einfluss der Kantenbearbeitung auf die Festigkeitseigenschaften von Stahl-Feinblechen unter quasistatisch und schwingender Beanspruchung, 2018
- 307 Fahrerspezifische Aspekte beim hochautomatisierten Fahren, 2018
- 308 Der Rollwiderstand von Nutzfahrzeugreifen unter zeitvarianten Betriebsbedingungen, 2018
- 309 Bewertung der Ermüdungsfestigkeit von Schraubverbindungen mit gefurchem Gewinde, 2018
- 310 Konzept zur Auslegungsmethodik zur Verhinderung des selbsttätigen Losdrehens bei Bauteilsystemen im Leichtbau, 2018
- 311 Experimentelle und numerische Identifikation der Schraubenkopfverschiebung als Eingangsgröße für eine Bewertung des selbsttätigen Losdrehens von Schraubenverbindungen, 2018

- 312 Analyse der Randbedingungen und Voraussetzungen für einen automatisierten Betrieb von Nutzfahrzeugen im innerbetrieblichen Verkehr, 2018
- 313 Charakterisierung und Modellierung des anisotropen Versagensverhaltens von Aluminiumwerkstoffen für die Crashesimulation, 2018
- 314 Definition einer „Äquivalenten Kontakttemperatur“ als Bezugsgröße zur Bewertung der ergonomischen Qualität von kontaktbasierten Klimatisierungssystemen in Fahrzeugen, 2018
- 315 Anforderungen und Chancen für Wirtschaftsverkehre in der Stadt mit automatisiert fahrenden E-Fahrzeugen (Fokus Deutschland), 2018
- 316 MULTIC-Tooling, 2019
- 317 EPHoS: Evaluation of Programming - Models for Heterogeneous Systems, 2019
- 318 Air Quality Modelling on the Contribution of Brake Wear Emissions to Particulate Matter Concentrations Using a High-Resolution Brake Use Inventory, 2019
- 319 Dehnratenabhängiges Verformungs- und Versagensverhalten von dünnen Blechen unter Scherbelastung, 2019
- 320 Bionischer LAM-Stahlleichtbau für den Automobilbau – BioLAS, 2019
- 321 Wirkung von Systemen der aktiven, passiven und integralen Sicherheit bei Straßenverkehrsunfällen mit schweren Güterkraftfahrzeugen, 2019
- 322 Unfallvermeidung durch Reibwertprognosen - Umsetzung und Anwendung, 2019
- 323 Transitionen bei Level-3-Automation: Einfluss der Verkehrsumgebung auf die Bewältigungsleistung des Fahrers während Realfahrten, 2019
- 324 Methodische Aspekte und aktuelle inhaltliche Schwerpunkte bei der Konzeption experimenteller Studien zum hochautomatisierten Fahren, 2020

Impressum

Herausgeber	FAT Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. Behrenstraße 35 10117 Berlin Telefon +49 30 897842-0 Fax +49 30 897842-600 www.vda-fat.de
ISSN	2192-7863
Copyright	Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) 2020

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

VDA | Verband der
Automobilindustrie

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

FAT | Forschungsvereinigung
Automobiltechnik