VDA | Verband der Automobilindustrie

FAT | Forschungsvereinigung Automobiltechnik

FAT-Schriftenreihe 397

Fahrdynamik des automatisierten Fahrens 2.0

Fahrdynamik des automatisierten Fahrens 2.0

Forschungsstelle

fka GmbH

Projektleiter:

Dipl.-Ing. Jörn Lützow

Projektbearbeiterinnen/Projektbearbeiter:

Ida Kuck M.Sc.

Julia Pelzer M.Sc.

Dipl.-Ing. Arne Düselder

Dipl.-Ing. Alexander Tenbrock

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

Inhalt

1 Einleitung ... 4

2 Nutzerstudie – Aufbau ... 7

2.1 Untersuchungsszenario „Vorbeifahrt/Überholen bei verengter Fahrbahn“ ... 7

2.2 Forschungsfragen ... 8

2.3 Simulationsumgebung ... 9

2.3.1 Statischer Fahrsimulator ... 9

2.3.2 Umsetzung des Untersuchungsszenarios ... 10

2.4 Studiendesign ... 12

2.5 Studienablauf, Studienaufbau und Stimuli ... 13

2.6 Stichprobe ... 16

3 Nutzerstudie – Ergebnisse ... 18

3.1 Subjektive Maße ... 18

3.1.1 Zwischenbefragung ... 18

3.1.2 Nachbefragung ... 21

3.2 Objektive Maße ... 22

3.2.1 Videodaten ... 22

3.2.2 Eyetracking-Daten ... 23

3.2.3 Simulator-Daten ... 24

3.3 Diskussion ... 24

4 Zusammenfassung ... 26

5 Literatur ... 28

1 Einleitung

Die Fahrzeugführung stellt eine komplexe Tätigkeit dar, die vom Fahrer in unterschiedlichen Zeithorizonten [DON82] Entscheidungen im Einklang mit den Erfordernissen der aktuellen Verkehrssituation verlangt, um eine sichere Aufgabenausführung zu gewährleisten. Anpassungen des Fahrerverhaltens werden dabei auf Basis der visuellen, akustischen und kinästhetischen Rückmeldung vorgenommen.

Mit der Automatisierung von Fahrfunktionen geht ein fundamentaler Wechsel der Fahrerrolle einher. Bei der Nutzung von Level 3 Automatisierung aufwärts [SAE21] tritt die Fahraufgabe in den Hintergrund und bietet dem nun „passiven Fahrer“ Möglichkeiten für die Ausübung fahrfremder Tätigkeiten (FFT) an Stelle einer aktiven Fahrzeugführung (Level 0 und 1) oder einer Überwachung der Fahrfunktion (Level 2). Durch den Rollenwechsel obliegen somit der Automation Entscheidungen auf taktischer Ebene und die Ausführung dieser mit direkten Auswirkungen auf die Fahrdynamik. Gleichzeitig geht mit der veränderten Fahrerrolle mutmaßlich eine veränderte Beurteilung der aktuellen Verkehrssituation und der Fahrdynamik einher. Mit der Abwendung des Menschen von der Fahraufgabe hin zu FFT resultiert ein verändertes Situationsbewusstsein des Fahrers [END17]. Es ist beispielsweise zu erwarten, dass Fahrer bei einer Aufmerksamkeitsausrichtung von der FFT zurück zur Fahrsituation manche Entscheidungen der Automation nicht schnell genug in den aktuellen bzw. kurzfristig zu erwartenden Kontext einordnen können und im Falle eines Vertrauensverlustes die Automation überstimmen. Das Zusammenspiel von Fahrer und automatisiert fahrendem Fahrzeug innerhalb des aktuellen Fahrkontexts ist schematisch in Abb. 1-1 dargestellt.

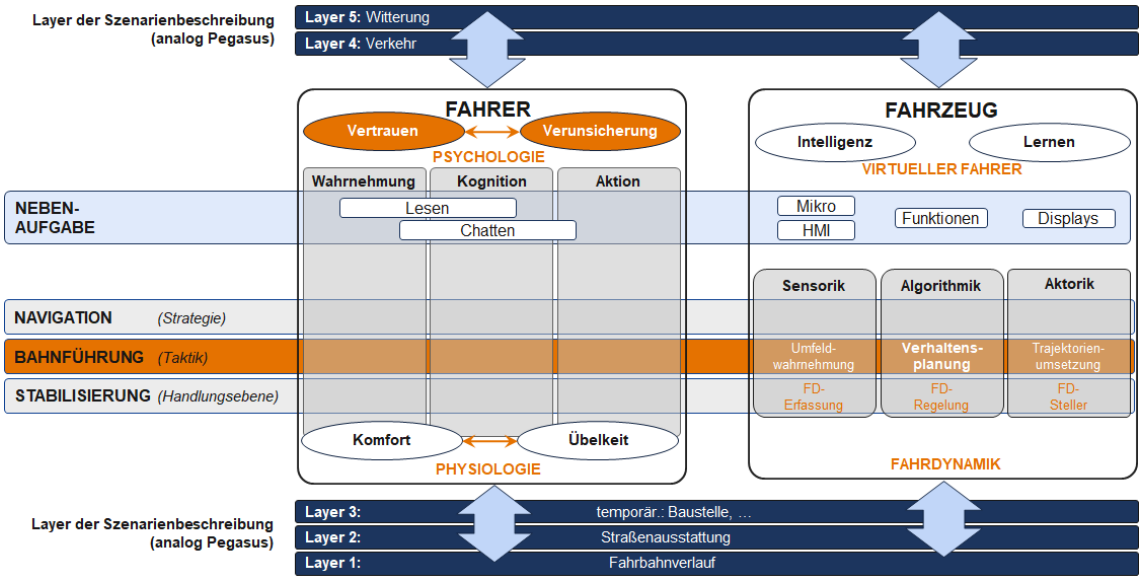

Abb. 1-1: Zusammenspiel von Fahrer, Fahrzeug und Umfeld (Layer 1 bis 5) innerhalb der Systemgrenzen des automatisierten Fahrens (Level 3 / Level 4).

In dieser Abbildung sind neben den Layern Szenarienbeschreibung, den drei Ebenen der Fahraufgabe [DON82] sowie der FFT auch zentrale Elemente und Prozesse der zwei Instanzen Fahrer und Fahrzeug skizziert. Während dies für den Fahrer die Stufen der Informationsverarbeitung sowie die Dimensionen Psychologie und Physiologie umfasst, sind fahrzeugseitig die wesentlichen Bausteine der automatisieren Fahrfunktion (Sensorik, Algorithmen, Aktorik) berücksichtigt. Zur Erhöhung der Akzeptanz und Vermeidung von Konfliktfällen auf psychologischer sowie physiologischer Ebene bei Nutzung automatisierter Funktionen bedarf es einer der veränderten Nutzerrolle angemessenen Gestaltung des Funktionsverhaltens auf Bahnführungs- und Stabilisierungsebene. Um Gestaltungskriterien und -richtlinien ableiten zu können, muss dazu zunächst das Konstrukt Fahrerleben strukturiert und operationalisiert werden, also durch subjektive und auch objektive (physiologisch-behaviorale) Erfassungsmethoden quantifizierbar gemacht werden.

Im Zeitraum 2021 bis 2023 erarbeitete die fka GmbH in Zusammenarbeit mit dem AK20 „Fahrdynamik des FAT im Rahmen des Projekts „Fahrdynamik des automatisierten Fahrens“ eine entsprechende Methodik zur Untersuchung der psychologischen Aspekte „Vertrauen“ und „Verunsicherung“ im dargestellten Kontext (siehe Abb. 1-1). Die erarbeitete Methodik wurde im weiteren Projektverlauf auf ein ausgewähltes Fahrszenario (Fahrstreifenwechsel auf einer Autobahn) angewendet und eine Nutzerstudie in einer virtuellen Testumgebung (hochdynamischer Fahrsimulator) durchgeführt. Der gemeinsam mit dem AK20 festgelegte Fokus der durchgeführten Untersuchungen adressierte die psychologische Ebene und befasste sich mit der Frage: „Wann und durch welche Faktoren des taktisches Verhalten des virtuellen Fahrers tritt in definierten Fahrszenarien Verunsicherung auf, die zu einer systemseitig ungewollten Fahrerübernahme führen könnte?“ Der Fokus der im Rahmen des Vorgängerprojekts durchgeführten Untersuchungen ist in Abb. 1-2 noch einmal zusammenfassend dargestellt.

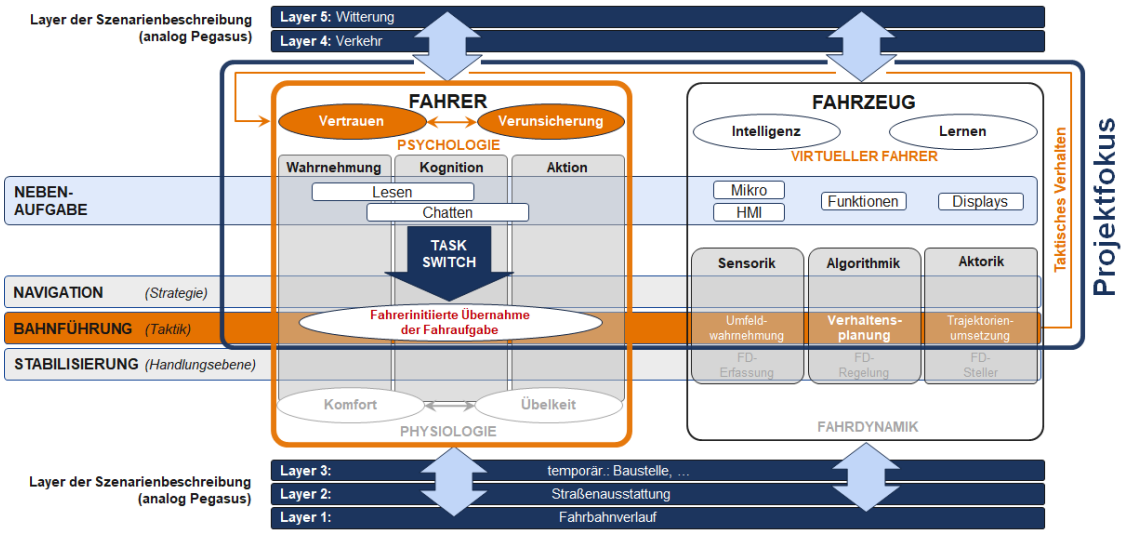

Abb. 1-2: Fokus auf psychologische Ebene – Taktisches Verhalten des virtuellen Fahrers: Wann und durch welche Faktoren tritt in definierten Fahrszenarien Verunsicherung auf, die zu einer systemseitig ungewollten Fahrerübernahme führen könnte?

Die zugrundeliegenden Untersuchungsmethodik und die Ergebnisse des Vorgängerprojekts „Fahrdynamik des automatisierten Fahrens“, die die Grundlagen für die nachfolgenden Untersuchungen bilden, können dem Abschlussbericht [FAT24] des Projekts entnommen werden. Der vollständige Bericht ist als frei verfügbare Publikation über die FAT-Schriftreihe über die Homepage des VDA einsehbar.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurde die im vorangegangenen Projekt entwickelte Untersuchungsmethodik auf ein weiteres Fahrszenario angewendet und eine entsprechende Nutzerstudie durchgeführt. In Abstimmung mit den Mitgliedern des AK20 wurde als Fahrszenario „Vorbeifahrt/Überholen bei verengter Fahrbahn (Baustelle)“ für die geplante Untersuchung ausgewählt. Das Untersuchungsszenario, die abgeleiteten Forschungsfragen, die Simulationsumgebung sowie das Design und der Ablauf der durchgeführten Nutzerstudie werden in Kapitel 2 im Detail erläutert. Die Ergebnisse und abgeleiteten Erkenntnisse der Nutzerstudie werden anschließend in Kapitel 3 dargestellt.

2 Nutzerstudie – Aufbau

Kern des durchgeführten Projekts bildet die Untersuchung der psychologischen Konstrukte Vertrauen und Verunsicherung als Folge eines taktischen Verhaltens einer automatisierten Fahrfunktion im Rahmen des Fahrszenarios „Vorbeifahrt/Überholen bei verengter Fahrbahn (Baustelle)“ auf einer Autobahn. Hierzu sollte eine Nutzerstudie in einem statischen Fahrsimulator durchgeführt werden. Die Literaturgrundlage für die relevanten psychologischen Konstrukte Vertrauen und Verunsicherung wurde im vorangegangenen Projekt bereits erarbeitet (siehe [FAT24]). Die hier ausgearbeitete Studie basiert auf der dort erarbeiten Grundlage und Methoden.

Im folgenden Kapitel werden die Grundlagen, der Aufbau und die Methodik der durchgeführten Nutzerstudie beschrieben. Hierzu werden in Kapitel 2.1 die mit dem AK20 abgestimmten Grundzüge des ausgewählten Untersuchungsszenarios „Vorbeifahrt/Überholen bei verengter Fahrbahn“ sowie in Kapitel 2.2 die gemeinsam mit dem AK20 formulierten Forschungsfragen vorgestellt. In Kapitel 2.3 wird zunächst der für die Durchführung der Nutzerstudie verwendete statische Fahrsimulator der fka kurz vorgestellt und anschließend auf die Umsetzung des Untersuchungsszenarios in der Simulationsumgebung eingegangen. Anschließend wird in Kapitel 2.4 das Design der Nutzerstudie erläutert. In Kapitel 2.5 wird der allgemeinen Aufbau inklusive der verwendeten Stimuli und der allgemeine Ablauf der Nutzerstudie eingegangen. Abschließend beschreibt Kapitel 2.6 die verwendete Stichprobe.

2.1 Untersuchungsszenario „Vorbeifahrt/Überholen bei verengter Fahrbahn“

Als Untersuchungsszenario für die durchgeführte Nutzerstudie wurde in Abstimmung mit dem FAT-AK 20 das Szenario eines Überholvorgangs auf einer durch eine Baustelle verengten zweispurigen Autobahn ausgewählt. In dem genannten Szenario befährt das Ego-Fahrzeug automatisiert mit einer konstanten Geschwindigkeit von 80 km/h den linken Fahrstreifen einer zweispurigen Autobahn in einer Baustellensituation und nähert sich einem auf dem rechten Fahrstreifen fahrenden Lkw (Sattelzug mit einer Gesamtlänge von 16,5 m) an. Der Lkw fährt dabei mit einer konstanten Geschwindigkeit von 70 km/h, sodass sich eine Differenz-geschwindigkeit von 10 km/h ergibt. Während der Annäherung des Ego-Fahrzeugs an den Lkw herrscht auf dem rechten Fahrstreifen Umgebungsverkehr in Form von weiteren Fahrzeugen, die sich ebenfalls mit einer Fahrgeschwindigkeit von 70 km/h bewegen. Durch den im Vergleich zum Ego-Fahrzeug langsam fahrenden Umgebungsverkehr auf der rechten Fahrspur wird die Fahrt es Ego-Fahrzeugs auf der linken Fahrspur für die Insassen plausibilisiert. Der Umgebungsverkehr beeinflusst dabei die taktische Ausgestaltung des Überholvorgangs des Ego-Fahrzeugs, da ein Wechsel auf den rechten Fahrstreifen aufgrund des Fehlens einer entsprechenden Lücke zwischen den Fahrzeugen auf der rechten Spur nicht möglich ist.

Infolge der stetigen Annäherung des automatisiert fahrenden Ego-Fahrzeug an den Lkw auf dem rechten Fahrstreifen ergeben sich für die automatisierte Fahrfunktion des Ego-Fahrzeugs grundsätzlich zwei taktische Handlungsoptionen:

1. **Handlungsoption 1**
   Vorbeifahrt/Überholen des Lkw auf dem linken Fahrstreifen
   ➔ Beibehaltung der aktuellen Fahrgeschwindigkeit
2. **Handlungsoption 2**
   Kein Überholen des Lkw mit Weiterfahrt auf dem linken Fahrstreifen
   ➔ Abbremsen und Verlangsamung der eigenen Fahrt

Die im Rahmen des Projekts durchgeführten Untersuchungen fokussieren in Abstimmung mit dem FAT-AK 20 die erste taktische Handlungsoption, den Lkw zu überholen. Der wesentliche Gestaltungsparameter des Szenarios ist dabei die verbleibende Durchfahrtsbreite zwischen dem zu überholenden Lkw und der seitlichen Fahrbahnbegrenzung auf der linken Seite. Das Untersuchungsszenario ist in Abb. 2-1 schematisch dargestellt.

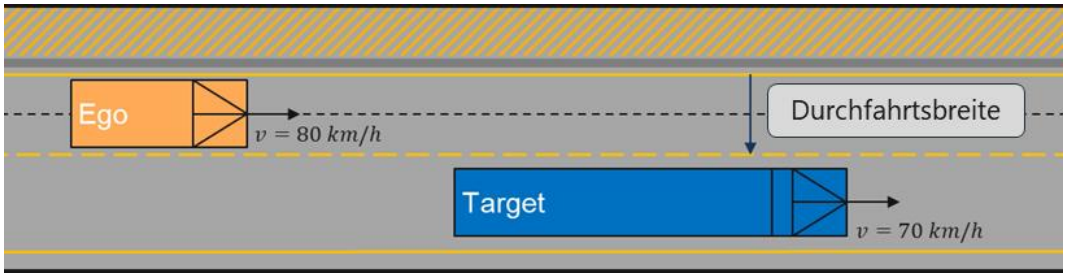

Abb. 2-1 Schematische Darstellung des Untersuchungsszenario „Vorbeifahrt/Überholen bei verengter Fahrbahn“

2.2 Forschungsfragen

Wie bereits in Kapitel 1 erläutert, wurde als Fokus des Projekts und der im Projektrahmen durchzuführenden Studie – in Anlehnung an das Vorgängerprojekt (siehe [FAT24]) – die Untersuchung der psychologischen Konstrukte „Vertrauen“ und „Verunsicherung“ im Zusammenspiel mit dem taktischen Verhalten einer automatisierten Fahrfunktion festgelegt. Als zielführendes Untersuchungsszenario wurde das in Kapitel 2.1 beschriebene Szenario „Vorbeifahrt/Überholen bei verengter Fahrbahn“ ausgewählt. Bestimmender Faktor für die Vorbeifahrt an dem Lkw war dabei neben der Differenzgeschwindigkeit der beiden Fahrzeuge vor allem die verbleibende Durchfahrtsbreite (siehe Abb. 2-1) zwischen dem Lkw und der Fahrstreifenbegrenzung auf der linken Seite. Als weiterer Faktor für die Untersuchung wurde in der Diskussion mit dem AK20 die Ablenkung des Fahrers von Fahrgeschehen durch das Ausüben einer fahrfremden Tätigkeit festgelegt. Diese fahrfremde Tätigkeit wurde im Rahmen der Studie über zwei standardisierte Nebenaufgaben (siehe Kapitel 2.5) abgebildet.

In dem beschriebenen Kontext ergab sich für die durchzuführende Nutzerstudie die folgende übergeordnete Forschungsfrage:

„Welche Verunsicherung entsteht durch geringe Abstände während einer Vorbeifahrt bzw. eines Überholvorgangs in dem untersuchten Fahrszenario?“

Diese übergeordnete Forschungsfrage wurde für die weitere Betrachtung in drei Forschungsfragen untergliedert:

1. **Forschungsfrage 1**
   „Welchen Einfluss hat die Durchfahrtsbreite während der Vorbeifahrt auf die Verunsicherung?“
2. **Forschungsfrage 2**
   „Hat die Art der Nebenaufgabe bzw. keine Nebenaufgabe einen Einfluss auf die Verunsicherung in der Situation?“
3. **Forschungsfrage 3**
   „Beeinflusst die Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben/keiner Nebenaufgabe den Einfluss der Durchfahrtsbreite auf die Verunsicherung?“

Während die erste Forschungsfrage den Fokus auf die Vorbeifahrt selbst legt, adressieren die zweite und die dritte Forschungsfrage dabei den Einfluss von Ablenkung auf die Wahrnehmung der Vorbeifahrt an dem Lkw. Als zu variierten Faktoren für das Studiendesign wurden aus diesem Grund die schon genannten Faktoren „Durchfahrtsbreite“ und „Nebenaufgabe“ während der Vorbeifahrt an dem zu überholden LKW festgelegt.

2.3 Simulationsumgebung

Für die Durchführung der Nutzerstudie war die Verwendung des statischen Fahrsimulators der fka in Aachen vorgesehen. Der verwendete Fahrsimulator sowie die simulationstechnische Umsetzung des Untersuchungsszenarios in der Simulationsumgebung werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

2.3.1 Statischer Fahrsimulator

Im Unterschied zur Nutzerstudie im vorangegangenen Projekt [FAT24] stand die Dynamik des Ego-Fahrzeugs für das durch den AK20 ausgewählte Untersuchungsszenario (Vorbeifahrt/Überholen bei verengter Fahrbahn in einer Baustelle) nicht im Fokus der Untersuchung. Aus diesem Grund konnte auf die komplexe Simulation der Dynamik verzichtet werden. Anstelle des im Vorgängerprojekt genutzten hochdynamischen Fahrsimulators wurde daher für diese Nutzerstudie ein statischer Fahrsimulator verwendet. Der verwendete statische Fahrsimulator (siehe Abb. 2-2) verfügt hinsichtlich der Darstellung des Fahrszenarios vergleichbare visuelle und immersive Eigenschaften wie der in der vorangegangenen Untersuchung verwendete hochdynamische Fahrsimulator. Auf Grund seiner Eigenschaften ermöglicht der statische Fahrsimulator eine bedarfsorientierte und ökonomische Nutzung der zur Verfügung stehenden Projektressourcen.

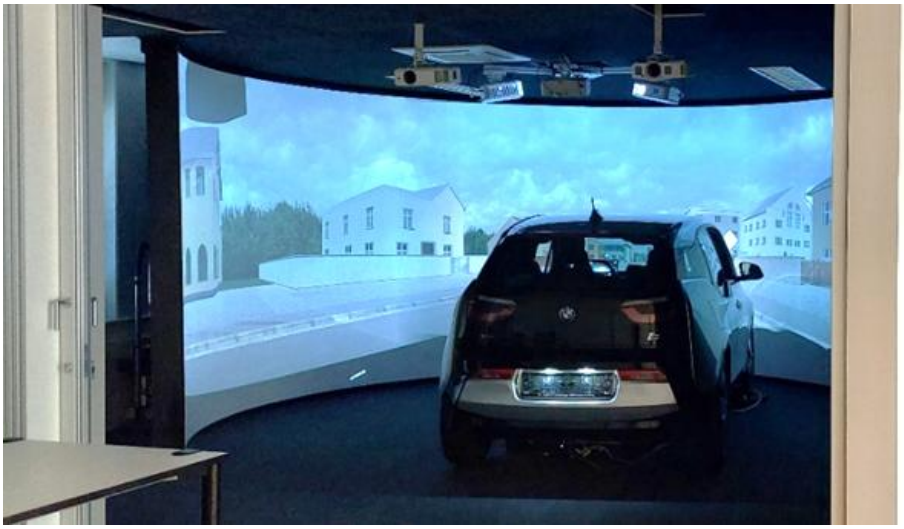

Abb. 2-2 Statischer Fahrsimulator der fka mit Mock-Up (BMW i3)

Der statische Fahrsimulator besitzt ein horizontales Projektionsfeld von 220° mit einer Höhe von 2,6 m. Das vertikale Projektionsfeld beträgt 40°. Der Abstand der Projektionsfläche vom Auge des Fahrers beträgt 2,6 m. Neben der Frontprojektion verfügt der Simulator auch über eine rückwärtige, perspektivisch geteilte Projektion für den Blickbereich des Rückspiegels und der beiden Außenspiegel. Für eine realitätsnahe Geräuschkulisse verfügt der Simulator eine PC-gestützte 5.1 Geräuschsimulation sowie optional I-Beam Körperschallwandler. Der Aufbau und die Visualisierung des Fahrszenarios erfolgen über die Software VTD (Virtual Test Drive). Als Fahrzeug Mock-Up diente der bereits im Vorgängerprojekt verwendete BMW i3. Dieser verfügt neben der notwendigen Aktuatorik zur Abbildung eines realistischen Lenk- und Bremsgefühls auch über eine frei konfigurierbare Instrumentenanzeige und ein frei konfigurierbares zentrales Display.

2.3.2 Umsetzung des Untersuchungsszenarios

Die Umsetzung des bereits in Kapitel 2.1 in Grundzügen beschriebenen Untersuchungsszenarios und der zugehörigen Szenarienumgebung wurde in der Softwareumgebung des Fahrsimulators umgesetzt. Grundlage für das ganzheitliche Fahrszenario bildete eine zweispurige Autobahn. Im Verlauf der Fahrt fuhr das Ego-Fahrzeug in einen Baustellenbereich ein. Die Umsetzung des ebenfalls zweispurig gestalten Baustellenbereichs erfolgte gemäß der Richtline RSA Teil D (Richtlinie für die Sicherung von Arbeitsstellen auf Autobahnen) [RSA21]. Neben der Verschwenkung der Fahrspuren zur Ein- bzw. Ausfahrt aus dem Baustellenbereich wurde auch die Abtrennung zu den Gegenfahrspuren (Betonleitplanke) sowie die Beschilderung gemäß der RSA Teil D gestaltet. Die Umsetzung des Baustellenbereichs ist exemplarisch in Abb. 2-3 dargestellt.

Abb. 2-3 Umsetzung des Baustellenbereichs in der Simulationsumgebung (links: Einfahrt in den Baustellenbereich; rechts: Fahrt m Baustellenbereich)

Die zur Verfügung stehenden Fahrstreifenbreiten betrugen gemäß RSA Teil D auf der rechten Fahrstreifen 3,75 m und reduzierte 2,6 m auf dem linken Fahrstreifen. Die vorgeschriebene maximale Geschwindigkeit im Baustellenbereich war durch entsprechende Schilder auf 80 km/h beschränkt. Die LKW-Vorbeifahrsituation ist in Abb. 2-4 dargestellt. Bei dem gewählten LKW handelte es sich um einen standardmäßigen 16,5m-Sattelzug. Die Breite des Fahrkorridors für die Vorbeifahrt an dem LKW ergibt sich aus dem Querabstand zwischen der Beton-Mittelleitplanke und dem zu überholenden LKW (siehe Abb. 2-4). Die Variation der Durchfahrtsbreite kann in der Simulation über den lateralen Versatz des LKWs im eigenen Fahrstreifen erfolgen.

Abb. 2-4 Umsetzung des Vorbeifahrt an einem LKW im Baustellenbereich – Darstellung der verbleibenden Durchfahrtsbreite

Für eine realistische Gestaltung des Gesamtszenarios wurde ein Gegenverkehr durch PKW und kleine LKW auf dem Gegenfahrstreifen jenseits der Beton-Mittelleitplane simuliert.

2.4 Studiendesign

Die Studie basierte auf einem 4 × 3 (Durchfahrtsbreite × Nebenaufgabe) gemischt-faktoriellen Design mit dem Zwischensubjektfaktor „Nebenaufgabe“ und dem Innersubjektfaktor „Durchfahrtsbreite“. Die im Rahmen von Vorversuchen wurden für die Variation des Innersubjektfaktor „Durchfahrtsbreite“ die folgenden Ausprägungen definiert:

- **Ausprägung 1:** Durchfahrtsbreite 3,34 m (Versatz des LKWs = 0 m)
- **Ausprägung 2:** Durchfahrtsbreite 3,09 m (Versatz des LKWs = 0,25 m)
- **Ausprägung 3:** Durchfahrtsbreite 2,84 m (Versatz des LKWs = 0,5 m)
- **Ausprägung 4:** Durchfahrtsbreite 2,59 m (Versatz des LKWs = 0,75 m)

Jede Versuchsperson erlebte während der Fahrt im Fahrsimulator alle vier Ausprägungen der Durchfahrtsbreite. Die Reihenfolge der Ausprägungen wurde dabei randomisiert, um systemattische Reihenfolgeeffekte zu minimieren. Die vier Ausprägungen der Durchfahrtsbreite im Untersuchungsszenario sind in Abb. 2-5 exemplarisch dargestellt. Für die Variation des Zwischensubjektfaktor „Nebenaufgabe“ wurden die folgenden Ausprägungen definiert:

- **Ausprägung 1:** visuelle Nebenaufgabe (visuell kognitive Ablenkung)
- **Ausprägung 2:** auditive Nebenaufgabe (auditiv kognitive Ablenkung)
- **Ausprägung 3:** keine Nebenaufgabe (keine Ablenkung)

Die Versuchspersonen erlebten nur eine der drei Nebenaufgaben-Bedingungen. Details zu den beiden Nebenaufgaben werden in Kapitel Abb. 2-5 erläutert.

Abb. 2-5 Ausprägungen des Innersubjektfaktor „Durchfahrtsbreite“ für die Nutzerstudie

Als abhängige Variablen für die Nutzerstudie dienten die Subjektivmaße Komfort-Sicherheits-Empfinden, wahrgenommene Kritikalität der Situation, Vertrauen in die Automatisierung, Akzeptanz des Fahrstreifenwechsels und die selbstberichtete kognitive, affektive und behaviorale Reaktion sowie die Objektivmaße Blickzuwendung/ Körperhaltung, insbesondere die Hand- und Fußhaltung sowie die Bearbeitung und Leistung in den vorgegebenen Nebenaufgaben. Im folgenden Kapitel werden die verwendeten Messinstrumente sowie der Aufbau des Versuchs im Detail erläutert.

2.5 Studienablauf, Studienaufbau und Stimuli

Die Studie bestand aus der Vorbefragung, der Fahrt im statischen Fahrsimulator mit mehreren Zwischenbefragungen und der Nachbefragung. Die einzelnen Befragungszeitpunkte während des Ablaufs der Studienteilnahme sind Abb. 2-6 zu entnehmen.

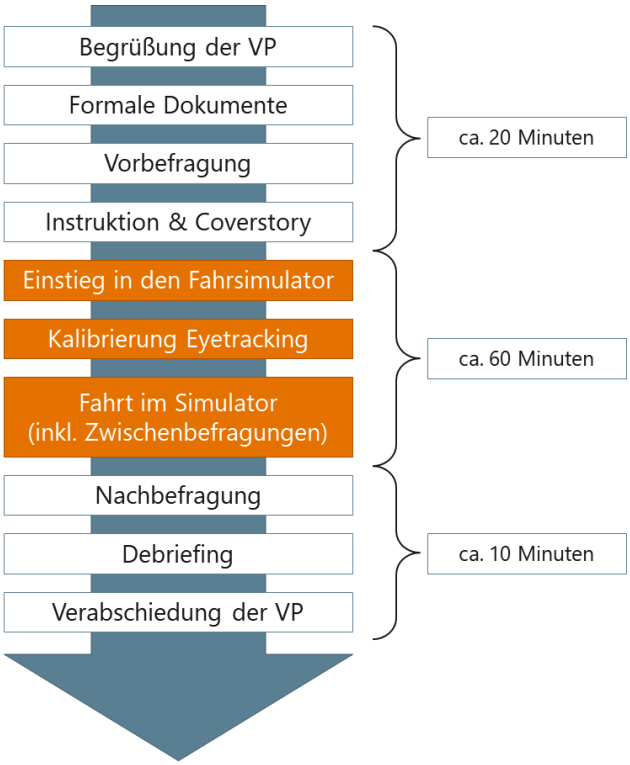

Abb. 2-6: Ablauf der Studienteilnahme durch eine Versuchsperson (VP) – Übersicht

Die Versuchspersonen wurden zunächst von der Versuchsleitung am Gebäudeeingang begrüßt und in den Versuchspersonenraum gebracht, wo sie die formalen Dokumente sowie die Vorbefragung ausfüllten. Die Vorbefragung fand digital statt und beinhaltete soziodemographische Fragen zu Alter, Geschlecht, Fahrerfahrung und Erfahrung mit teilautomatisierten sowie vollautomatisierten Fahrzeugen sowie einen Fragebogen zur Technikakzeptanz [NEY16], Neigung zu Vertrauen [KÖR18a] und das Arnett Inventory of Sensation Seeking short (AISS-d short) [ROT03]. Die Fahrerfahrung wurde mit Hilfe von vier Items erfasst. Dabei wurde das Jahr des Führerscheinerwerbs, die gefahrenen Kilometer im letzten Jahr, die durchschnittliche

Anzahl an gefahrenen Tagen pro Woche, an denen die Versuchspersonen mit dem Auto fahren und das Verhältnis zwischen selbstgefahrenen Strecken und Strecken als Beifahrer (in %) abgefragt. Zur Erfassung der Erfahrung der Versuchspersonen mit teilautomatisierten Fahrzeugen gaben die Versuchspersonen auf einer 5-stufigen Skala (nie, selten, gelegentlich, oft, immer) an, wie viel Erfahrung sie mit einem Tempomat, einem Abstandsregeltempomat, einem Blind-spot warning, einem Lane-departure warning, einem Lane-keeping Assistent sowie dem Lane centering hätten. Zusätzlich hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit weitere automatisierte Hilfssysteme und die Häufigkeit der Nutzung dieser zu benennen. Der Fragebogen zur Technikakzeptanz von [NEY16] beinhaltet vier Items (z.B. „Hinsichtlich technischer Neuentwicklungen bin ich sehr neugierig.“), die auf einer 5-stufigen Likert-Skala (1 – Stimmt gar nicht bis 5 – Stimmt völlig) beantwortet wurden. Die Neigung zu Vertrauen ist eine Subskala des Fragebogens Trust in Automation [KÖR18a] und besteht aus drei Items, die auf einer 5-stufigen Likert-Skala (1 – Stimme gar nicht zu bis 5 – Stimme voll zu) bewertet wurden (z.B. „Bei unbekannten automatisierten Systemen sollte man eher vorsichtig sein.“). Um Sensation Seeking zu untersuchen, beantworteten die Versuchspersonen das AISS-d short [ROT03] auf einer 4-stufigen Skala (1 – Trifft gar nicht auf mich zu bis 4 – Trifft stark auf mich zu). Das AISS-d short besteht aus 14 Items, welche sich den beiden Subskalen Intensität (6 Items, z.B. „Wenn ich Musik höre, sollte sie laut sein.“) und Neuigkeit (7 Items, z.B. „Ich fände es interessant, jemanden aus dem Ausland zu heiraten.“) zuordnen lassen, wobei ein Item („Ich kann mir vorstellen, dass es aufregend sein muss, während eines Krieges in einem Kampf zu sein.“) aufgrund von Kriegsbezügen ausgelassen wurde.

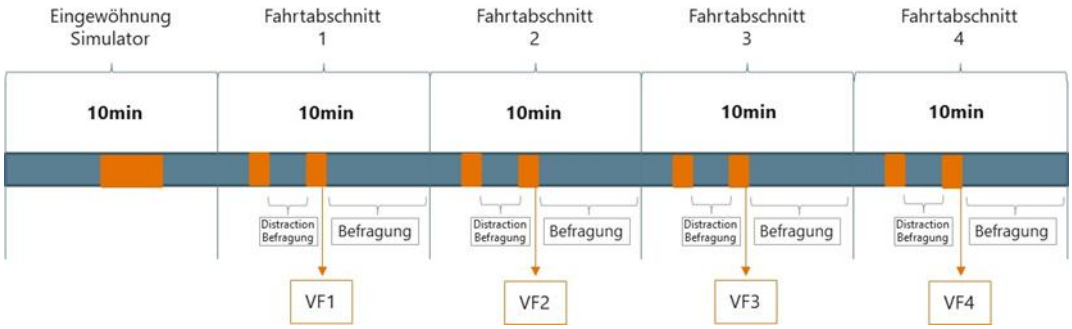

Abb. 2-7: Darstellung der Fahrtabschnitte der Untersuchungsfahrt im statischen Fahrsimulator

Anschließend wurden die Versuchspersonen von der Versuchsleitung instruiert und in die Coverstory, dass die Studie sich mit der Aufnahme von Posen und Haltungen beim automatisierten Fahren befassen würde, eingeführt. Anschließend wurden die Versuchspersonen in den statischen Fahrsimulator begleitet, wo zunächst die Eyetracking-Brille kalibriert und die Nebenaufgabe, sofern vorhanden, erklärt wurde. Anschließend begann die Eingewöhnungsfahrt. Am Ende der Eingewöhnungsfahrt wurde die automatisierte Fahrfunktion des Fahrzeugs eingeschalten und vier Untersuchungsabschnitte automatisiert durchfahren. In jedem der vier Untersuchungsabschnitte (siehe Abb. 2-7) erlebte die Versuchsperson das in Abschnitt 2.1 be-

schriebene Untersuchungsszenario „Vorbeifahrt/Überholen bei verengter Fahrbahn“ mit unterschiedlichen Durchfahrtsbreiten (Variation des Lateralversatz des LKWs zum Fahrstreifenmittelpunkt, siehe Abb. 2-5) in randomisierter Reihenfolge. In jedem Untersuchungsabschnitt erlebten die Versuchspersonen zwei Zeiträume, in denen sie die visuelle oder auditive Nebenaufgabe, sofern vorhanden, bearbeiten sollten.

Die visuelle Nebenaufgabe war die Surrogate Reference Task (SuRT; siehe [MAT09]) , eine standardisierte Aufgabe für visuelle Suche. Die Versuchspersonen bekamen auf einem schwarzen Bildschirm mehrere weiße Kreise angezeigt. Einer der Kreise war größer als die anderen. Die Versuchspersonen bekamen die Aufgabe einen grauen Balken mithilfe von Pfeiltasten so nach rechts beziehungsweise links zu navigieren, dass der graue Balken auf dem größeren Kreis liegt. Der Aufbau der SuRT ist in Abb. 2-8 exemplarisch dargestellt.

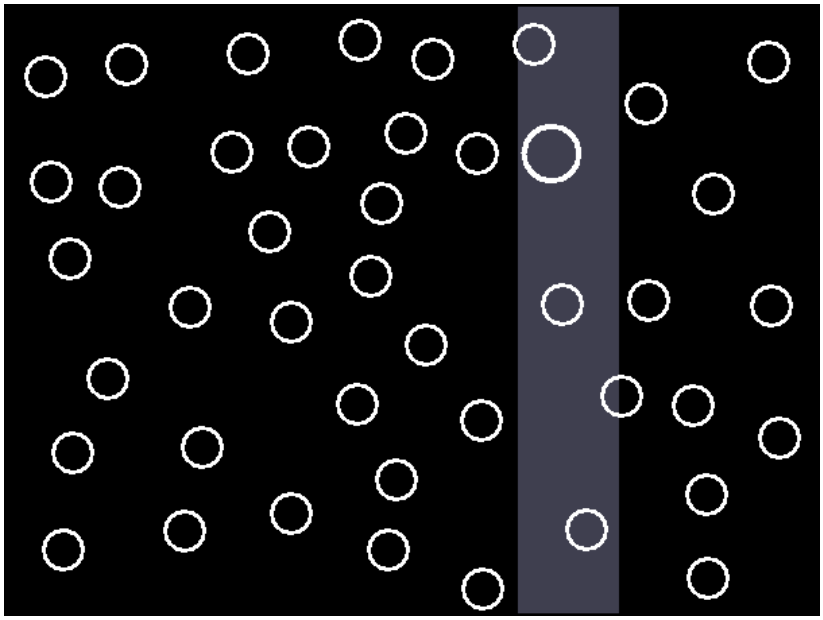

Abb. 2-8: Surrogate Reference Task (SuRT) – exemplarische Darstellung [MAT09]

Die auditive Nebenaufgabe war eine auditive Suchaufgabe und bestand aus einer Tonfolge mit repetitiven Tönen, wobei ein Ton aus der Tonreihe sich in der Tonhöhe von den anderen unterschied. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, den abweichenden Ton schnellstmöglich in höher oder tiefer als die umgebenden Töne zu identifizieren. Jede Tonfolge bestand aus 16 Tönen. Der Tonambitus bestand aus Tönen zwischen a und a‘. Die Tonhöhenunterschiede reichten von einer kleinen Sekunde bis hin zu einer Oktave.

Zunächst erfolge der erste Bearbeitungszeitraum sowie die erste Zwischenbefragung. Die erste Zwischenbefragung erfragte den subjektiven Komfort der Versuchsperson und diente zur Stärkung der Coverstory. Anschließend folgte der zweite Zeitraum der Nebenaufgabe zusammen mit dem kritischen Überholvorgang. Darauffolgend beantworteten die Versuchspersonen die zweite Zwischenbefragung. Die zweite Zwischenbefragung erfasste die subjektiv wahrgenommene kognitive, affektive und behaviorale Reaktion, das Komfort-Sicherheits-Empfinden

[VOS20], die wahrgenommene Kritikalität der Situation [LI19], das Vertrauen in die Automatisierung [HOL20] sowie die Akzeptanz des Fahrstreifenwechsels. Die Neukum-Skala beinhaltet ein Item mit einer 11-stufigen Skala (0 - nichts bemerkt, 10 - höchst kritisch). Die wahrgenommene Kritikalität der Situation mit Hilfe von drei Items (z.B. „Das automatisierte System ist riskant.“; [LI19] wurde auf einer 11-stufigen Likert-Skala (0 - Stimme gar nicht zu bis 10 - Stimme voll zu) bewertet. Der Fragebogen zur Erfassung des Vertrauens in die Automatisierung [HOL20] bestand aus sechs Items (z.B. „Ich habe dem automatisierten Fahrzeug in dieser Situation vertraut.“), welche auf einer 7-stufigen Likert-Skala (1 - Trifft überhaupt nicht zu bis 7 - Trifft voll zu) bewertet wurden. Zusätzlich wurde die subjektive Akzeptanz des erlebten Fahrstreifenwechsels im eigenen automatisierten Fahrzeug auf einer 6-stufigen Likert-Skala (1 - Stimme überhaupt nicht zu bis 6 - Stimme voll zu) erfasst. Daneben wurde wiederholt ein Item zum wahrgenommenen Komfort zur Unterstützung der Coverstory abgefragt. Die Zwischenbefragungen wurden als Interview durchgeführt. Das Interview erfolgte über eine Audioverbindung mit der Versuchsleitung. Alle Interview-Fragen konnten auf einer ausgedruckten Fragebogenversion mitgelesen werden.

Nachdem die Versuchspersonen die Untersuchungsfahrt beendet hatten, wurden sie aus dem statischen Fahrsimulator zurück in den Versuchspersonenraum gebracht. Die Nachbefragung wurde digital durchgeführt und bestand aus den drei Subskalen Neigung zu Vertrauen, Systemreliabilität (sechs Items; z.B. „Die automatisierte Fahrfunktion ist imstande, Situationen richtig einzuschätzen.“) und Vertrauen (zwei Items; z.B. „Ich vertraue der automatisierten Fahrfunktion.“) aus dem Trust in Automation [KÖR18a] sowie abschließenden Mitteilungen. Die Items aus dem Trust in Automation [KÖR18a] wurden auf einer 5-stufigen Likert-Skala (1 - Stimme gar nicht zu bis 5 - Stimme voll zu) bewertet. Alle Antworten der Interviews wurden mitgetippt. Abschließend wurden die Versuchspersonen über das eigentliche Studienziel aufgeklärt, incentiviert und verabschiedet. Der Versuch dauerte ungefähr 90 Minuten.

2.6 Stichprobe

Im Zeitraum vom 20.01.2025 bis zum 29.01.2025 wurden N = 42 Versuchspersonen erhoben. Die Rekrutierung erfolgte über eine Rekrutierungsfirma. Da der Versuch das Tragen einer Eyetracking-Brille erforderte, benötigten alle Versuchspersonen mit einer Sehbeeinträchtigung Kontaktlinsen. Die Versuchspersonen waren zwischen 21 und 68 Jahre alt (M = 38 Jahre, SD = 14.56). 24 Versuchspersonen waren männlich, 18 waren weiblich. Die Versuchspersonen gaben an, ihren Führerschein zwischen 1975 und 2023 erworben zu haben und 200 bis 99.999 km pro Jahr Auto zu fahren. Die Hälfte der Versuchspersonen gab an fünf Tage pro Woche oder häufiger mit dem Auto zu fahren (n = 22), dabei betrug der berichtete Anteil an selbstgefahrenen Strecken im Mittel 78.48% (SD = 28.12) und der Anteil an Strecken als befahrende Person im Mittel 21.52% (SD = 28.12). Die meisten Versuchspersonen gaben an, den Tempomaten gelegentlich (n = 11) oder oft (n = 10) und das ACC nie zu benutzen (n = 20). Weiterhin gaben die meisten Versuchspersonen an, das Blind-Spot-Warning (n = 20), das Lane-departure Warning (n = 16), den Lane-Keeping Assistent (n = 20) und das Lane Centering (n = 28) nie zu benutzen. Außerdem hatte die Mehrheit (n = 33) keine Erfahrung mit vollautomatisierten Fahrzeugen. Die angegebene Technikakzeptanz der Versuchspersonen

war hoch ($M = 3.91$, $SD = 0.68$) und die Versuchspersonen wiesen eine mittlere Neigung zum Sensation Seeking ($M = 2.62$, $SD = 0.34$) auf. Die Nebenaufgaben unterschieden sich nicht signifikant in Bezug auf die angegebene Technikakzeptanz, $F(2,39) = 1.31$, $p = .280$, $\eta^2p = .06$) sowie ihrer Neigung zum Sensation Seeking, $F(2,39) = 1.43$, $p = .252$, $\eta^2p = .07$).

3 Nutzerstudie – Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Nutzerstudie präsentiert und diskutiert. Der Verhaltenskaskade folgend beginnen die Ergebnisse mit den subjektiven Maßen der Zwischenbefragung und der Nachbefragung. Im Anschluss werden die Ergebnisse aus den objektiven Maßen (Eyetracking-Daten, Videodaten und Simulator-Daten) berichtet. Abschließend werden die Ergebnisse diskutiert und ein Ausblick auf zukünftig benötigte Forschung gegeben.

Während der Erhebung wurden sowohl subjektive als auch objektive Maße erhoben, welche separat statistisch ausgewertet und im Folgenden berichtet werden.

3.1 Subjektive Maße

Die subjektiven Maße beinhalten sowohl quantitative (skalenbasierte, z.B. Neukum-Skala) sowie qualitative (offene Fragen) Maße. Die quantitativen Maße wurden alle mit Hilfe einer mixed ANOVA ausgewertet. Diese Auswertungsmethode kann dazu genutzt werden, die Daten auf statistisch signifikante Unterschiede in Bezug auf die manipulierten Variablen zu untersuchen. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = .05$ festgelegt. Die qualitativen Daten wurden geclustert, um relevante gehäufte Nennungen hervorzuheben.

3.1.1 Zwischenbefragung

Gemischtfaktorielle ANOVAs zeigen keinen signifikanten Haupteffekt für den Zwischensubjektfaktor Nebenaufgabe für die Komfort-Sicherheit-Skala, $F(2, 39) = 0.47$, $p = .630$, $\eta^2_p = .02$, die Kritikalität der Situation, $F(2, 39) = 0.99$, $p = .381$, $\eta^2_p = .05$, Vertrauen in die Automatisierung, $F(2, 39) = 1.27$, $p = .292$, $\eta^2_p = .06$, Akzeptanz des Überholvorgangs, $F(2, 39) = 1.45$, $p = .246$, $\eta^2_p = .07$, sowie die Angabe, ob die Versuchspersonen einen solchen Überholvorgang selbst durchgeführt hätten, $F(2, 39) = 0.37$, $p = .691$, $\eta^2_p = .02$. Dies bedeutet, dass die Nebenaufgabe keinen Einfluss auf die subjektiven Bewertungen dieser abhängigen subjektiven Maße hatte. Daneben zeigt eine gemischtfaktorielle ANOVA einen signifikanten Haupteffekt für den Innersubjektfaktor Abstand bezüglich der Komfort-Sicherheit-Skala, $F(2.20, 85.76) = 26.51$, $p < .001$, $\eta^2_p = .41$. Post hoc Analysen zeigten, dass die Versuchspersonen einen Lateralversatz von 0,75 m ($M = 4.79$, $SD = 2.77$) als signifikant kritischer bewerteten als einen Lateralversatz von 0,5 m ($M = 2.71$, $SD = 1.64$), einen Lateralversatz von 0,25 m ($M = 2.38$, $SD = 1.92$) und ein Lateralversatz von 0 m ($M = 1.67$, $SD = 2.06$). Ebenfalls wurde ein Lateralversatz von 0,5 m als signifikant kritischer bewertet verglichen mit einem Lateralversatz von 0 m. Auch bezüglich der wahrgenommenen Kritikalität der Situation zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Abstands, $F(2.31, 90.07) = 7.46$, $p < .001$, $\eta^2_p = .16$. Wieder bewerteten Versuchspersonen einen Lateralversatz von 0,75 m ($M = 2.79$, $SD = 2.25$) als signifikant kritischer als einen Lateralversatz von 0,5 m ($M = 1.67$, $SD = 1.59$), 0,25 m ($M = 1.83$, $SD = 1.93$) oder 0 m ($M = 1.82$, $SD = 1.90$). Ferner zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Abstands bezüglich des Vertrauens in die Automatisierung, $F(1.95, 76.06) = 16.66$, $p < .001$, $\eta^2_p = .30$. Das Vertrauen in die Automatisierung war bei einem Lateralversatz von 0,75 m ($M = 4.91$, $SD = 1.74$) signifikant geringer als bei einem Lateralversatz von 0,5 m ($M = 6.05$, $SD = 0.89$),

0,25 m (*M* = 6.09, *SD* = 0.90) und 0 m (*M* = 6.33, *SD* = 0.90). Außerdem zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Abstands bezüglich der Akzeptanz des Überholvorgangs, $F(2.21, 86.31) = 14.63$, $p < .001$, $\eta^2_p = .27$. Auch hier zeigten post hoc Tests, dass die Akzeptanz des Überholvorgangs bei einem Lateralversatz von 0,75 m (*M* = 3.95, *SD* = 1.82) signifikant geringer war als bei einem Lateralversatz von 0,5 m (*M* = 5.17, *SD* = 1.12), 0,25 m (*M* = 5.38, *SD* = 0.99) und 0 m (*M* = 5.43, *SD* = 1.13). Zuletzt zeigte sich ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt des Abstands bei der Angabe, ob die Versuchspersonen einen solchen Überholvorgang in ihrem Fahrzeug selbst durchgeführt hätten, $F(2.44, 95.14) = 18.13$, $p < .001$, $\eta^2_p = .32$. Post hoc Tests zeigten, dass die Versuchspersonen einen solchen Überholvorgang signifikant weniger wahrscheinlich bei einem Lateralversatz von 0,75 m (*M* = 3.50, *SD* = 1.98) durchgeführt hätten, vergleichen mit einem Lateralversatz von 0,5 m (*M* = 4.90, *SD* = 1.56), 0,25 m (*M* = 5.38, *SD* = 0.96) und 0 m (*M* = 5.05, *SD* = 1.43). Für keines der benannten abhängigen subjektiven Maße zeigte sich eine signifikante Interaktion. Die deskriptiven Statistiken finden sich in Tab. 3-1.

Lkw-Versatz:	0 m		0,25 m		0,5 m		0,75 m	
Durchfahrtsbreite	3.34 m		3.09 m		2.84 m		2.59 m	
Kennwert:	**M**	**SD**	**M**	**SD**	**M**	**SD**	**M**	**SD**
Komfort-Sicherheit								
Keine Nebenaufgabe	1.86	2.14	2.50	1.74	2.64	1.82	5.14	2.71
SuRT	1.86	1.75	2.00	2.00	3.07	1.59	5.36	2.50
Auditive Nebenaufgabe	1.29	2.33	2.64	2.10	2.43	1.55	3.86	3.03
Kritikalität der Situation								
Keine Nebenaufgabe	1.64	1.58	1.43	1.03	1.43	1.38	2.38	2.53
SuRT	1.88	1.79	2.45	2.24	2.14	1.68	3.60	2.29
Auditive Nebenaufgabe	1.93	2.38	1.60	2.23	1.43	1.71	2.40	1.80
Vertrauen in die Automatisierung								
Keine Nebenaufgabe	6.12	1.14	5.96	1.19	6.04	1.05	4.48	2.15
SuRT	6.37	0.76	6.06	0.69	5.88	0.98	4.81	1.44
Auditive Nebenaufgabe	6.49	0.76	6.25	0.81	6.24	0.62	5.44	1.51
Akzeptanz des Überholvorgangs								
Keine Nebenaufgabe	5.43	0.85	5.29	1.20	5.14	0.95	3.50	1.83
SuRT	5.36	1.22	5.14	1.10	5.07	1.38	3.71	1.77
Auditive Nebenaufgabe	5.50	1.34	5.71	0.47	5.29	1.07	4.64	1.78
Manuelle Durchführung des Überholvorgangs								
Keine Nebenaufgabe	5.14	1.46	5.36	1.22	5.43	1.02	3.07	1.90
SuRT	4.93	1.38	5.36	0.93	4.64	1.78	3.14	1.94
Auditive Nebenaufgabe	5.07	1.54	5.43	0.76	4.64	1.74	4.29	1.99

Tab. 3-1 Subjektive Maße der Zwischenbefragung – Deskriptive Statistiken

Die selbstberichteten kognitiven, affektiven und behavioralen Reaktionen wurden zunächst in ihren Grundaussagen getrennt und anschließend geclustert. Dies ermöglicht Mehrfachnennungen für einzelne Versuchspersonen, die mehrere Aspekte benannten. Die exakten Nennungen der kognitiven, affektiven und behavioralen Reaktion aufgeschlüsselt nach Nebenaufgabenbedingung und Abstand befinden sich in Tab. 3-2.

Nebenaufgabe:	**Keine Nebenaufgabe**				**SuRT**				**Auditive Nebenaufgabe**			
Lkw-Versatz [m]:	0	0.25	0.5	0.75	0	0.25	0.5	0.75	0	0.25	0.5	0.75
Durchfahrtsbreite [m]:	3.34	3.09	2.84	2.59	3.34	3.09	2.84	2.59	3.34	3.09	2.84	2.59
Kognitive Reaktion												
Fokus auf Aufgabe, Gedanken zu Aufgabe	0	0	0	0	**4**	**4**	**6**	2	3	**4**	**5**	1
Gedanken zu Überholvorgang und LKW	**6**	3	**7**	**7**	2	**4**	**6**	**11**	1	2	3	**6**
Gedanken zu Lücke und Abstand bei Überholvorgang	**5**	2	**7**	**9**	1	3	**6**	**9**	1	2	3	**7**
Positive Gedanken	4	**4**	3	0	2	3	0	0	3	3	3	3
Negative Gedanken	3	2	3	**6**	1	3	2	4	0	1	1	2
Weitere Gedanken zu Verkehr	2	3	0	0	1	2	1	0	0	1	0	0
Sonstige Gedanken	2	**4**	3	3	1	1	1	2	1	1	1	1
Keine spezifischen Gedanken	4	3	2	2	**6**	2	3	1	**10**	**6**	**4**	3
Affektive Reaktion												
Entspannung	**6**	**5**	2	2	3	2	2	2	4	2	3	3
Vertrauen/Sicherheit	1	3	2	0	3	3	4	**4**	2	3	**5**	**4**
Angst/Erschrecken	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Unwohlsein, Unsicherheit, Anspannung	3	4	**4**	**9**	3	3	**6**	**5**	1	1	1	2
Konzentration	0	0	0	0	3	3	1	0	1	0	0	0
Neutrale Gefühlslage	5	**5**	**6**	4	**5**	**4**	**5**	0	**7**	**6**	**7**	1
Komfort	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
Generelle weitere positive Gefühle	1	1	1	0	1	**4**	0	0	1	1	1	1
Spannung/erhöhte Aufmerksamkeit	3	2	3	4	0	0	1	2	0	2	0	3
Langeweile	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
Wut	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Verwirrung	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Behaviorale Reaktion												
Aufmerksames Verhalten; Beobachten Verkehrssituation	**6**	6	**6**	**7**	**7**	**7**	**8**	**9**	0	3	3	**6**
Beinahe Eingriff in das Fahrgeschehen	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	1
In das Fahrgeschehen eingegriffen	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Ruhiges/Entspanntes Verhalten	**6**	6	1	2	0	2	1	1	1	3	3	1
Auf die Nebenaufgabe bezogenes Verhalten	0	0	0	0	6	4	2	2	2	2	4	1
Kein spezifisches Verhalten	**9**	**12**	**7**	**7**	**7**	**6**	**6**	2	**11**	**8**	**8**	**7**
Auf Sitzposition bezogenes Verhalten	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0

Tab. 3-2 Kognitive, affektive und behaviorale Reaktion der Studienteilnehmer

Bei 0 m und 0,25 m Lateralversatz berichteten die meisten Versuchspersonen, die keine Nebenaufgabe bearbeiteten, keine spezifischen Gedanken. Die Versuchspersonen, die eine Nebenaufgabe (SuRT oder auditive Nebenaufgabe) bearbeiteten, berichteten bei einem Lateralversatz von 0 m Gedanken zum Überholvorgang und zum Abstand zum Target-Fahrzeug. Bei 0,25 m Lateralversatz berichteten sie, sich auf die Nebenaufgabe fokussiert zu haben. Versuchspersonen, die die SuRT bearbeiteten, berichteten zusätzlich Gedanken zum Überholvorgang. Während des Überholvorgangs mit einem Lateralversatz von 0,5 m berichteten die meisten Versuchspersonen, die keine Nebenaufgabe oder die SuRT bearbeiteten, Gedanken zum Überholvorgang sowie zum Abstand zum Target-Fahrzeug. Versuchspersonen, die eine Nebenaufgabe bearbeiteten berichteten zumeist zusätzlich Gedanken zur Nebenaufgabe. Bei einem Lateralversatz von 0,75 m berichteten die meisten Versuchspersonen Gedanken zum Überholvorgang sowie zum Abstand zum Target-Fahrzeug.

Bezüglich der affektiven Reaktion berichteten die meisten Versuchspersonen bei einem Lateralversatz von 0 oder 0,25 m, die keine Nebenaufgabe bearbeiteten Entspannung. Die meisten Versuchspersonen, die eine Nebenaufgabe bearbeiteten berichteten eine neutrale Gefühlslage. Bei 0,5 m Lateralversatz empfanden die meisten Versuchspersonen in allen Bedingungen eine neutrale Gefühlslage. Versuchspersonen in der Bedingung keine Nebenaufgabe berichteten Unwohlsein, während Versuchspersonen, die die auditive Nebenaufgabe bearbeiteten, Vertrauen und Sicherheit vornehmlich als affektive Reaktion benannten. Bei einem Lateralversatz von 0,75 m berichteten die meisten Versuchspersonen, die keine Nebenaufgabe oder die SuRT bearbeiteten, vor allem Unwohlsein, während Versuchspersonen in den Nebenaufgabenbedingungen ferner auch vermehrt Vertrauen und Sicherheit berichteten.

Bezogen auf die behaviorale Reaktion berichteten die meisten Versuchspersonen, in den meisten Bedingungen, kein spezifisches Verhalten gezeigt zu haben. Versuchspersonen, die keine Nebenaufgabe oder die SuRT bearbeiteten, berichteten zudem vermehrt, die Verkehrssituation beobachtet zu haben und aufmerksamer gewesen zu sein. Dies galt auch für Versuchspersonen in der 0,75 m Lateralversatz Bedingung, die die auditive Nebenaufgabe bearbeiteten.

3.1.2 Nachbefragung

Die Versuchspersonen zeigten eine mittlere Neigung zu Vertrauen. Eine 3 × 2 (Nebenaufgabe x Zeitpunkt) gemischtfaktorielle ANOVA zeigte keinen signifikanten Haupteffekt für die Nebenaufgabe, $F(2, 39) = 0.04$, $p = .964$, $\eta^2_p = .00$, und keine signifikante Interaktion, $F(2, 39) = 1.01$, $p = .375$, $\eta^2_p = .05$. Allerdings zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Zeitpunkts, $F(1, 39) = 8.72$, $p = .005$, $\eta^2_p = .18$. Die Versuchspersonen zeigten eine signifikant höhere Neigung zu Vertrauen, bevor ($M = 3.06$, $SD = 0.57$) sie mit dem automatisierten System fuhren als nachdem sie mit dem System gefahren waren ($M = 3.28$, $SD = 0.59$). Die deskriptiven Statistiken befinden sich in Tab. 3-3.

Zeitpunkt der Befragung:	Pre		Post	
Kennwert:	**M**	**SD**	**M**	**SD**
Neigung zu Vertrauen				
Keine Nebenaufgabe	3.24	0.79	3.07	0.74
SuRT	3.21	0.5	3.09	0.53
Auditive Nebenaufgabe	3.38	0.45	3.02	0.42

Tab. 3-3: Deskriptiven Statistiken – Neigung zu Vertrauen (Befragungszeitpunkte vor und nach der automatisierten Fahrt)

3.2 Objektive Maße

Zu den aufgezeichneten objektiven Maßen gehören die Eyetracking-Daten zur Bestimmung des Blickverhaltens, die Videodaten zur Aufzeichnung der vorbereitenden Handlungen sowie die Simulator-Daten zur Überprüfung des tatsächlichen Eingriffs in die Automation.

3.2.1 Videodaten

Die Videodaten wurden gesichtet und hinsichtlich des Verhaltens der Versuchspersonen in den kritischen Situationen kategorisiert. Das kategorisierte Verhalten ist in Tab. 3-4 dargestellt. In der Bedingung keine Nebenaufgabe fehlten für eine Versuchsperson Videos in der Bedingung 0,25 m und 0,5 m Lateralversatz, weshalb hier nur 13 Datensätze berücksichtigt werden konnten. Alle weiteren Gruppen enthalten 14 Datensätze.

Nebenaufgabe:	**Keine Nebenaufgabe**				**SuRT**				**Auditive Nebenaufgabe**			
Lkw-Versatz [m]:	0	0.25	0.5	0.75	0	0.25	0.5	0.75	0	0.25	0.5	0.75
Durchfahrtsbreite [m]:	3.34	3.09	2.84	2.59	3.34	3.09	2.84	2.59	3.34	3.09	2.84	2.59
Keine motorische Reaktion	14	13	11	12	13	14	14	12	14	14	13	12
Leichtes Anheben des Fußes	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Fußbewegung Richtung Gaspedal	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tippeln mit beiden Füßen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Fuß angehoben und zur Bremse bewegt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Fußwackeln	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Fuß zur Bremse und Hand ans Lenkrad bewegt	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Nach vorne gelehnt zur besseren Beobachtung des Umgebungsverkehrs	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Keine motorische Reaktion	14	13	11	12	13	14	14	12	14	14	13	12

Tab. 3-4: Kategorisierte Verhalten der Versuchspersonen in den kritischen Situationen

Insgesamt zeigten die Versuchspersonen wenig motorische Reaktionen in den kritischen Situationen. Jedoch zeigten sich vermehrt motorische Reaktionen bei einem größeren Lateralversatz. Dabei bezogen sich die meistgezeigten motorischen Reaktionen auf eine Veränderung der Fußposition hin zur Bremse.

3.2.2 Eyetracking-Daten

Die Eyetracking-Daten wurden in Bezug auf die gesamte Blickdauer auf das Aufgabendisplay und das Fahrszenario (Windschutzscheibe, Seitenfenster sowie Instrumentencluster) im Zeitraum zwischen einem Abstand von 100m zum vorausfahrenden Targetfahrzeug bis zum abgeschlossenen Überholvorgang untersucht. Insgesamt hatten die Versuchspersonen, die die auditive oder keine Nebenaufgabe bearbeiteten, eine Blickdauer von 0 Sekunden im angegebenen Zeitraum auf das Aufgabendisplay. Versuchspersonen, die die SuRT bearbeiteten, beobachteten alle das Aufgabendisplay. Für die Blickdauer auf das Fahrszenario zeigt sich ein entsprechendes Bild. Versuchspersonen, die keine Nebenaufgabe bearbeiteten, hatten die längste Blickdauer auf das Fahrszenario. Versuchspersonen, die die auditive Nebenaufgabe bearbeiteten, hatten etwas kürzere Blickdauern auf das Fahrszenario, was darin begründet war, dass sie zusätzlich das Tastaturfeld zur Eingabe der korrekten Antwort betrachteten. Versuchspersonen, die die SuRT bearbeiteten, hatten die kürzeste Blickdauer auf das Fahrszenario, da sie zur Bearbeitung der Nebenaufgabe das Aufgabendisplay betrachteten. Die deskriptiven Daten sind in Abb. 3-1 und Abb. 3-2 dargestellt.

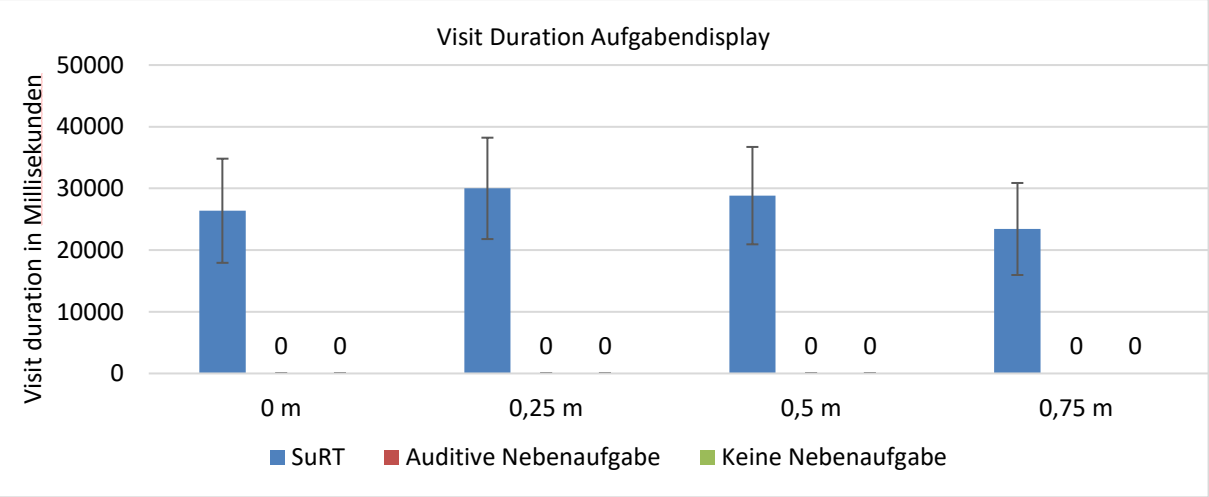

Abb. 3-1: Deskriptiven Daten – Visit Duration Aufgabendisplay

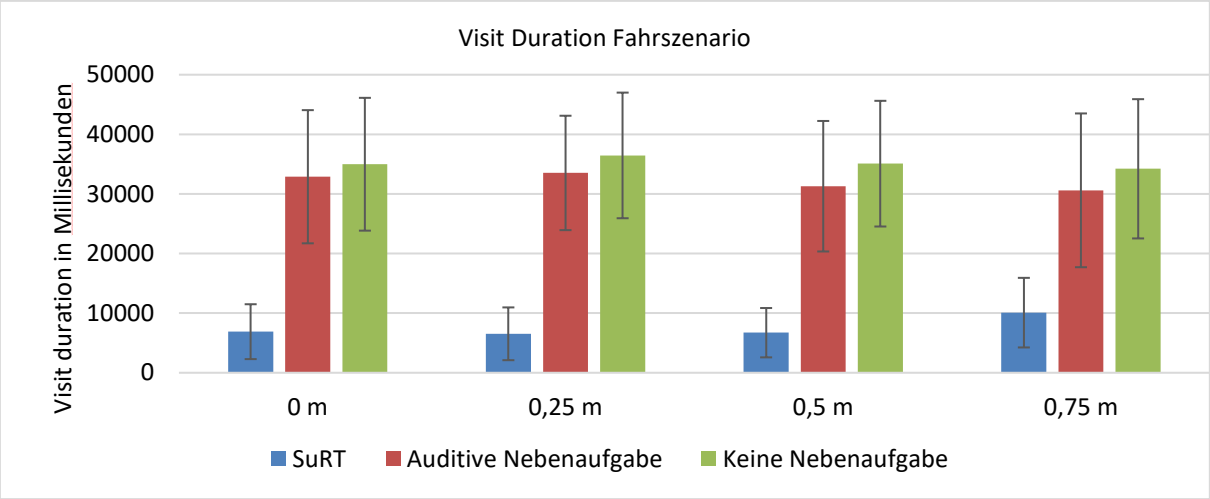

Abb. 3-2: Deskriptiven Daten – Visit Duration Fahrszenario

3.2.3 Simulator-Daten

Die Simulator-Daten wurden in Bezug auf einen Eingriff in die Automation analysiert. Insgesamt griff eine Versuchsperson, die keine Nebenaufgabe bearbeitete, während eines Lateralversatzes von 0,75 m in die Automation ein. Weitere Eingriffe in die Automation gab es nicht.

3.3 Diskussion

Die hier beschriebene Studie untersuchte den Einfluss des Abstands zu einem zu überholenden Targetfahrzeug bei einer verengten Fahrbahn sowie die parallele Bearbeitung einer Nebenaufgabe während einer automatisierten Fahrt auf die hypothetische Verunsicherung während des Überholvorgangs. Dazu erlebten die Versuchspersonen in einem statischen Fahrsimulator eine Baustellenumgebung mit verengter Fahrbahn. Variiert wurde der Lateralversatz des zu überholenden LKWs (0 m vs. 0,25 vs. 0,5 m vs. 0,75 m) als Innersubjektfaktor sowie die parallel zu bearbeitende Nebenaufgabe (SuRT vs. auditive Nebenaufgabe vs. keine Nebenaufgabe) als Zwischensubjektfaktor.

Insgesamt zeigte sich, dass ein Lateralversatz des LKWs von 0,75 m als signifikant kritischer und weniger akzeptabel eingeschätzt wird. Auch das Vertrauen in die Automatisierung ist signifikant niedriger bei einem Lateralversatz von 0,75 m. Dieses Muster spiegelt sich in allen subjektiven sowie objektiven Daten wider. So zeigten die Versuchspersonen bei einem Lateralversatz von 0,75 m mehr vorbereitende motorische Handlungen und, wenn sie die SuRT bearbeiteten, auch eine deskriptiv längere Beobachtung des Fahrszenarios als bei einem geringeren Lateralversatz des LKWs. Ebenfalls griff eine Versuchsperson in dieser Bedingung in die Automatisierung ein. Ein Lateralversatz des LKW von 0 m, 0,25 m und 0,5 m wurde jedoch insgesamt als nicht unterschiedlich bewertet. Übertragen auf reale Überholmanöver, ist dies ein Hinweis darauf, dass Überholmanöver bei einem solchen Versatz in einem automatisierten Fahrzeug durchgeführt werden können, ohne die Fahrenden negativ in ihrem subjektiven Urteil zu beeinflussen.

Ferner zeigten sich keine Unterschiede in den subjektiven und objektiven Daten zwischen den Gruppen, die verschiedene Nebenaufgaben bearbeiteten. Alle Gruppen schätzten Kritikalität und Akzeptanz ähnlich ein. Dies zeigt sich auch in den objektiven Daten. Ausschließlich in den Eyetracking-Daten zeigen sich erwartbare Unterschiede. Versuchspersonen, die die SuRT bearbeiteten, schauten länger auf das Aufgabendisplay und beobachteten das Fahrszenario entsprechend kürzer als Personen, die die auditive oder keine Nebenaufgabe bearbeiteten. Die Daten unterstreichen, dass das subjektive Urteil sowie die eingeschätzte Kritikalität nicht vom Visus der Versuchspersonen abhingen. Die Versuchspersonen nahmen während der Bearbeitung einer visuellen Nebenaufgabe, das umgebende Fahrszenario wahr und schätzten die erlebten Situationen ähnlich ein wie Personen, die keine visuelle Ablenkung erfuhren.

Die erzielten Ergebnisse müssen vor dem Hintergrund einiger Limitationen interpretiert werden. Zunächst muss bedacht werden, dass die Versuchspersonen die Fahrbahnverengung in einem Fahrsimulator erlebten, in dem der Abstand des Mock-Ups zu der Außenwand ca. 1,7 m bis 2 m Meter betrug. Da die Leinwand jedoch eine Krümmung aufwies, war die Wahrnehmung der Fahrstreifenbreite sehr realitätsnah. Zusätzlich gab es Hinweise darauf, dass die Versuchspersonen die Situationen subjektiv unterschiedlich wahrnahmen. Dies zeigt ebenfalls dass sie die Fahrstreifenbreite als unterschiedlich wahrnahmen, obwohl sich die Versuchspersonen in einem Fahrsimulator befanden. Zusätzlich könnte der Fahrsimulator dazu beigetragen haben, dass sich die Versuchspersonen grundsätzlich sicherer als im realen Straßenverkehr fühlten. Grundsätzlich könnte die subjektive Bewertung stets von der vorher erlebten Situation abhängig gewesen sein (Reihenfolgeeffekt), welcher durch eine Randomisierung im Latin Square bestmöglich vorgebeugt wurde.

Zusammengenommen liefern die Ergebnisse weitere Evidenz, die die Befunde aus dem vorausgegangenen FAT-Projekt stützen. Das taktische Fahrverhalten des automatisierten Fahrzeugs zeigt einen Einfluss auf das subjektive Empfinden der Passagiere. Die Befunde für laterale Dynamik in Überholvorgängen konnten im aktuellen Projekt für die Durchfahrtsbreite im Szenario „Vorbeifahrt bei verengter Fahrbahn“ repliziert werden. Zudem legen die Ergebnisse der aktuellen Studie nahe, dass die Art der Nebenaufgabe keinen Einfluss auf die Bewertung der Situation hat. Daraus kann auch für die erste Studie geschlossen werden, dass die Ergebnisse nicht durch die dort gewählte visuell ablenkende Nebenaufgabe beeinflusst wurden. Für die Weiterentwicklung des automatisierten Fahrens lässt sich an dieser Stelle ableiten, dass das Fahrverhalten in Hinblick auf die zukünftigen Passagiere abgestimmt werden sollte. Um Verunsicherung und damit potenziell einhergehende, nicht gewollte Eingriffe zu verhindern, erscheint es sinnvoll, zu dynamische und enge Fahrsituationen zu vermeiden, auch wenn das im Umkehrschluss einem möglichst effizienten Vorankommen im Verkehr entgegensteht. Weitere Forschung sollte darauf fokussieren, wie entstehender Verunsicherung, beispielsweise durch Information, vorgebeugt werden kann.

4 Zusammenfassung

Im Rahmen des vorliegenden Projekts „Fahrdynamik des automatisierten Fahrens 2.0“ wurde die im vorangegangenen FAT-Projekt entwickelte Methodik zur Untersuchung der psychologischen Aspekte „Vertrauen“ und „Verunsicherung“ im Kontext einer automatisierten Fahrt in einem definierten Fahrszenario auf das Untersuchungsszenario „Vorbeifahrt/Überholen bei verengter Fahrbahn“ angewendet und eine entsprechende Nutzerstudie in einer statischen Fahrsimulationsumgebung (siehe Kapitel 2.3) durchgeführt. Der Fokus der Untersuchung adressierte dabei die psychologische Ebene und befasste sich mit der Frage: „Wann und durch welche Faktoren des taktischen Verhaltens des virtuellen Fahrers tritt in definierten Fahrszenarien Verunsicherung auf, die zu einer systemseitig ungewollten Fahrerübernahme führen könnte?“

Das gemeinsam mit dem FAT-AK 20 festgelegte Untersuchungsszenario für die durchgeführte Nutzerstudie stellt einen automatisierten Überholvorgang bzw. eine Vorbeifahrt an einem LKW auf einer durch eine Baustelle verengten zweispurigen Autobahn dar (siehe Kapitel 2.1). In Bezug auf den Untersuchungsfokus bildet die verbleibende Durchfahrtsbreite zwischen dem zu überholenden LKW und der seitlichen Fahrbahnbegrenzung auf der linken Seite einen wichtigen Einflussfaktor hinsichtlich einer möglichen Verunsicherung des passiven Fahrers während der automatisierten Fahrt. In dem beschriebenen Kontext ergab sich für die durchgeführte Nutzerstudie die folgende übergeordnete Forschungsfrage:

„Welche Verunsicherung entsteht durch geringe seitliche Abstände während einer Vorbeifahrt bzw. eines Überholvorgangs in dem untersuchten Fahrszenario?“

Diese übergeordnete Forschungsfrage wurde für die weitere Betrachtung in drei Forschungsfragen untergliedert:

1. Welchen Einfluss hat die Durchfahrtsbreite während der Vorbeifahrt auf die Verunsicherung?
2. Hat die Art der Nebenaufgabe bzw. das Fehlen einer Nebenaufgabe einen Einfluss auf die Verunsicherung in der Situation?
3. Beeinflusst die Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben/keiner Nebenaufgabe den Einfluss der Durchfahrtsbreite auf die Verunsicherung?

Während die erste Forschungsfrage den Fokus auf die Vorbeifahrt selbst legt, adressieren die beiden weiteren Forschungsfragen den Einfluss von Ablenkung auf die Wahrnehmung der Vorbeifahrt an dem LKW. Als zu variierende Faktoren für das Studiendesign wurden aus diesem Grund die schon genannten Faktoren „Durchfahrtsbreite“ und „Nebenaufgabe“ während der Vorbeifahrt an dem zu überholenden LKW festgelegt (siehe Kapitel 2.5).

Im Januar 2025 wurde zur Untersuchung der aufgestellten Forschungsfragen eine Nutzerstudie mit $N = 42$ Studienteilnehmern durchgeführt (siehe Kapitel 2.3 ff.). Während der Nutzerstudie wurden sowohl subjektive als auch objektive Maße erhoben, welche separat statistisch ausgewertet wurden (siehe Kapitel 3).

Die Ergebnisse der durchgeführten Nutzerstudie zeigen zusammenfassend bezüglich Forschungsfrage 1 (Einfluss der Durchfahrtsbreite auf die Verunsicherung), dass auf der Verhaltensebene bei den teilnehmenden Versuchspersonen kaum systematische Reaktionen in Bezug auf den Überholvorgang in Zusammenhang mit der Durchfahrtsbreite beobachtbar sind. Rein deskriptiv zeigt sich jedoch eine leicht erhöhte Anzahl an motorischen Reaktionen in Verbindung mit der geringsten Durchfahrtsbreite während der Testung. Auf der subjektiven Bewertungsebene manifestieren sich hingegen klare systematische Bewertungen in Bezug auf den Überholvorgang. Eine geringe Durchfahrtsbreite führt zu einem signifikant geringeren Sicherheitsempfinden, höherer wahrgenommener Kritikalität, geringerer Akzeptanz und geringerem Vertrauen in die Automatisierung. Dies weist darauf hin, dass eine geringe Durchfahrtsbreite während eines Überholvorgangs auf einer verengten Fahrbahn mit erhöhter Verunsicherung in Verbindung gebracht werden kann.

Bezüglich Forschungsfrage 2 (Einfluss der Nebenaufgabe) ist herauszustellen, dass die Art der Nebenaufgabe (visuelle, auditive oder keine Nebenaufgabe) keinen signifikanten Einfluss auf die Verunsicherung der Studienteilnehmer in der Situation hatte. Mit Blick auf Forschungsfrage 3 (Einfluss der Nebenaufgabe auf den Einfluss der Durchfahrtsbreite) konnte ebenfalls kein signifikanter Einfluss gezeigt werden.

Die Ergebnisse der beiden im Rahmen der FAT-Projektreihe durchgeführten Studien legen nahe, dass das Fahrverhalten automatisierter Fahrzeuge auf die Insassen abgestimmt werden sollte. Tiefergehende Forschung sollte die Mitigation von Verunsicherung als Vorbeugung ungewollter Eingriffe und zur Steigerung der Akzeptanz adressieren.

Somit sollten sich automatisierte Fahrsysteme gezielt an die Bedürfnisse und das subjektive Empfinden der Passagiere anpassen. Nutzerstudien bieten hier die Basis und können spezifisch herausarbeiten, welche Varianten akzeptiert sind. Unangenehme Fahrsituationen sollten vermieden werden. Die implementierten Algorithmen sollten dynamische und potenziell unangenehme Fahrsituationen, wie abruptes Bremsen oder riskante Überholmanöver, vermeiden. Dies sollte überdies im Einklang mit der Effizienz des Verkehrsflusses stehen. Darüber hinaus könnten klare und verständliche Informationssysteme unterstützen und den Passagieren während der Fahrt relevante Informationen bereitstellen. So könnten Unsicherheiten verringert und das Vertrauen in automatisierte Systeme gestärkt werden. Die Integration von Feedback-Mechanismen in die Fahrzeuge, könnte helfen, indem sie direkt von Passagieren Rückmeldungen zum Fahrverhalten erhalten. Diese Informationen könnten genutzt werden, um kontinuierliche Verbesserungen vorzunehmen. In der aktuellen Forschungslandschaft etablieren sich aktuell Schulungsprogramme für Passagiere, um diese auf die Funktionsweise automatisierter Fahrzeuge vorzubereiten und ihnen Sicherheit im Umgang mit diesen Systemen zu vermitteln. Hier bedarf es der weiteren, engen Zusammenarbeit zwischen Forschung und Entwicklung, etwa im Rahmen von interdisziplinären Forschungsprojekten (siehe FAT), zur Untersuchung von Fahrerlebnis und Passagierkomfort in automatisierten Fahrzeugen, um fundierte Entscheidungen über zukünftige Entwicklungen treffen zu können. Schließlich kommt es darauf an, das Vertrauen der Passagiere in automatisierte Fahrsysteme zu stärken und deren Akzeptanz zu erhöhen.

5 Literatur

[DON82] Donges, E
Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen.
Automobil-Industrie (27), Seiten 183-190, 1982

[END17] Endsley, M. R.
From here to autonomy: lessons learned from human–automation research
Human factors 59.1, Seite 5-27, 2017

[FAT24] J. LÜTOW; J. PELZER, I. FEGER, P. PELTZER et al.
Fahrdynamik des Automatisierten Fahrens
FAT-Schriftreihe 381
FAT e.V., Berlin, 2024
Bericht abrufbar unter: https://www.vda.de/de/aktuelles/publikationen/publication/fahrdynamik-des-automatisierten-fahrens

[HOL20] Holthausen, B. E., Wintersberger, P., Walker, B. N., & Riener, A.
Situational trust scale for automated driving (STS-AD): Development and initial validation
12th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (Seiten 40-47), 2020
https://doi.org/10.1145/3409120.3410637

[KÖR18a] Körber, M.
Theoretical considerations and development of a questionnaire to measure trust in automation
Congress of the International Ergonomics Association, Seiten 13-30), 2018

[LI19] Li, M., Holthausen, B. E., Stuck, R. E., & Walker, B. N.
No risk no trust: Investigating perceived risk in highly automated driving
Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (Seiten 177-185), 2019
https://doi.org/10.1145/3342197.3344525

[MAT09] Mattes, S., Hallén, A.
Surrogate distraction measurement techniques: The lane change test
Driver Distraction: Theory, Effects, and Mitigation
2009

[NEY16] Neyer, F. J., Felber, J., & Gebhardt, C.
Kurzskala Technikbereitschaft
Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen (ZIS)
https://doi.org/10.6102/zis244, 2016

[ROT03] Roth, M., Mayerhofer, D.
Deutsche Version des Arnett Inventory of Sensation Seeking (AISS-d)
Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen Dissertation
https://doi.org/10.6102/zis73, 2003

[RSA21] RSA 21
Richtlinien für die verkehrsrechtliche Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen
Ausgabe 2021
FGSV-Verlag, 2021

[SAE21] SAE J3016_202104
Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles
2021

[VOS20] Voß, G. M. I.
Regulatives Fahrerverhalten und dessen Relevanz für das automatisierte Fahren
Ausarbeitung und Untersuchung eines Arbeitsmodells zu funktionalen Verhaltensanpassungen
Dissertation, RWTH Aachen University, 2020

Bisher in der FAT-Schriftenreihe erschienen (ab 2021)

Nr.	Titel
340	Schnelle, breitbandige Datenübertragung zwischen Truck und Trailer als Voraussetzung für das hochautomatisierte Fahren von Lastzügen, 2021
341	Wasserstoffkompatibilität von Aluminium-Legierungen für Brennstoffzellenfahrzeuge, 2021
342	Anforderungen an eine elektrische Lade- und Wasserstoffinfrastruktur für gewerbliche Nutzfahrzeuge mit dem Zeithorizont 2030, 2021
343	Objective assessment of database quality for use in the automotive research and development process, 2021
344	Review of non-exhaust particle emissions from road vehicles, 2021
345	Ganzheitliche Betrachtung von Rollwiderstandsverlusten an einem schweren Sattelzug unter realen Umgebungsbedingungen, 2021
346	Studie zur Abschätzung der Anwendungspotentiale, Risiken und notwendigen Forschungsbedarfe bei der Verwendung von Glashohlkugeln in Kombination mit thermoplastischem Schaumspritzguss, 2021
347	Typgenehmigungsanforderungen an Level-3-Autobahnsysteme - Hintergrundbetrachtungen zu technischen Anforderungen für eine automatisierte Fahrfunktion, 2021
348	Einfluss der Kantenbearbeitung von Aluminiumblechen auf das Restumformvermögen sowie die Festigkeitseigenschaften unter quasistatischer und schwingender Beanspruchung, 2021
349	Verstärkung dünner formgehärteter Bauteile mittels FVK-Verrippungen, 2021
350	HMI Anforderungen für den automatisierten Individualverkehr unter Berücksichtigung von Leistungsmöglichkeiten und -grenzen älterer Nutzer, 2021
351	Compatibility of polymers for fuel cell automobiles, 2021
352	Entwicklung einer gewichtsoptimierten Batteriegehäusestruktur für Volumenfahrzeuge, 2021
353	Charakterisierung und Modellierung des Deformations- und Versagensverhaltens von nicht-faserverstärkten Thermoplasten unter mehrachsiger Crashbelastung, 2021
354	Untersuchung zum thermischen Komfort im Pkw für den Grenzbereich des Luftzugempfindens, 2021
355	Anforderungen an die Güte, Verfügbarkeit und Vorausschau einer Reibwertschätzung aus Funktionssicht, 2021
356	Entwicklung einer standardisierten Prüfanordnung zur Bewertung der Übernahmeleistung beim automatisierten Fahren, 2022
357	Vorstudie zu Verkehrsemissionen - Räumlich und zeitlich aufgelöste Daten durch Schwarmmessungen, 2022
358	Produktivitätssteigerung und Kostensenkung der laser-additiven Fertigung für den Automobilbau, 2022
359	Analyse der Einflussfaktoren auf die Abweichung zwischen CFD und Fahrversuch bei der Bestimmung des Luftwiderstands von Nutzfahrzeugen mit Fokus auf den Ventilationswiderstand von Nfz-Rädern, 2022
360	Werkstoffmodelle und Kennwertermittlung für die industrielle Anwendung der Umform- und Crash-Simulation unter Berücksichtigung der thermischen Behandlungen beim Lackieren im Prozess bei hochfesten Werkstoffen, 2022

361 Compatibility of polymers for fuel cell automobiles, 2022

362 Ermüdung kurzfaserverstärkter thermoplastischer Polymerkwerkstoffe, 2022

363 Market research and definition of procedure to comparison of comfort measuring systems for a vehicle cabin, 2022

364 Methodische Ansätze zur Auswahl von Bordnetzstrukturen mit erhöhten Zuverlässigkeitsanforderungen, 2022

365 Fahrwiderstand von Lenk- und Liftachsen in Kurven und auf gerader Strecke unter realen Umgebungsbedingungen, 2022

366 Klimadaten und Nutzungsverhalten zu Auslegung, Versuch und Simulation an Kraftfahrzeug-Kälte-/ Heizanlagen, 2022

367 Experimentelle und numerische Untersuchung des selbsttätigen Losdrehens von Schraubenverbindungen mit konstanten und variablen Amplituden und Entwicklung einer Bewertungsmethode, 2022

368 Objective assessment of database quality for use in the automotive research and development process – Part 2, 2023

369 Level 2 hands-off – Recommendations and guidance, 2023

370 Funktionale Sicherheitsbewertung und Cybersecurity Analysen relevanter Use Cases für die Datenübertragung zwischen Truck und Trailer als Voraussetzungfür das hochautomatisierte Fahren von Lastzügen, 2023

371 Study on the technical evaluation of decentralization based de-identification procedures for personal data in the automotive sector, 2023

372 Legal evaluation of decentralization based de-identification procedures for personal and non-personal data in the automotive sector, 2023

373 Quantifizierung der mechanischen Belastbarkeit von Infrarot-Schweißverbindungen in zyklisch belasteten Thermoplast-Bauteilen, 2023

374 Lebensdauerbewertung von geschweißten Verbindungselementen unter Montagevorspannung, 2023

375 Einfluss verschiedener Scherschneidparameter auf die elektro-magnetischen Eigenschaften von NO-Elektroblech automobiler Traktionsantriebe, 2023

376 Automatisierte Demontage von Traktionsmotoren der E-Mobilität - Eine Studie zur Optimierung der Demontage, 2023

377 Untersuchungen zum Einfluss von feuchtem Wasserstoff auf die Spannungsrisskorrosionsempfindlichkeit von Aluminium-Legierungen für den Einsatz in Brennstoffzellenfahrzeugen, 2024

378 Diagnosekonzepte für zonale und teilredundante Bordnetzarchitekturen, 2024

379 Dynamische Erfassung und Beurteilung von Situationsbewusstsein im Kontext des automatisierten Fahrens, 2024

380 Charakterisierung zukunftsträchtiger Zellmaterialien im Hinblick auf deren Anforderungen an das Batteriepack, 2024

381 Fahrdynamik des Automatisierten Fahrens, 2024

382 Forschungsperspektiven für Mobilität in klimaneutralen Städten 2045 - Explorative Szenarioanalyse und innovationspolitische Handlungsempfehlungen, 2024

383 Codierung und Analyse der AO-Klassifikation für Fuß- und Sprunggelenksverletzungen zur Evaluation potentieller Langzeitfolgen, 2024

384 EMV-Nachweis der Störfestigkeit auf Komponenten- und Systemebene für FailOp ab Level 3 im Hinblick auf die Funktionssicherheit - Erster Projektteil, 2024

385 Retrospektive Berechnung des Crashpulses aus Fahrzeugdeformationen basierend auf EES-Berechnung von Fahrzeug-Voxelmodellen unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufes, 2024

386 Energieverluste infolge von Rad-/Achsfehlstellungen am schweren Sattelzug bei realen Umgebungsbedingungen, 2025

387 Recycling von Permanentmagneten und Bewertung der Rezyklierbarkeit von Permanentmagnet-Synchronmotoren, 2025

388 Graphen- und heuristikbasierte Topologieoptimierung von 3D-Crash-Strukturen von Personenkraftwagen, 2025

389 Bewertung und Erhöhung des Potentials von Binder Jetting durch Nutzung kosteneffizienter Stahlpulver für den Einsatz in der Automobilindustrie, 2025

390 Driver performance models as reference for the quality of automated driving functions, 2025

391 Experimentelle und numerische Analyse des Fließverhaltens von hochviskosen Wärmeleitstoffen im Fertigungsprozess, 2025

392 Maßnahmen zum Aufbau und Erhalt von Situationsbewusstsein im Kontext des automatisierten Fahrens, 2025

393 Reduktion von Kupfer und Eisen in geschmolzenem Aluminium – modernes Aluminium aus alten Fahrzeugen, 2025

394 PCM-F³: PCM Fit For Future, 2025

395 Blech-Umformeinfluss mittels Machine Learning für Konzept-Crashsimulationen (UmMatCra-ML), 2025

396 Absicherung moderner Fahrzeug-Bordnetze mittels elektronischer Sicherungen (eFuses), 2025

397 Fahrdynamik des automatisierten Fahrens 2.0, 2025

Impressum

Herausgeber FAT
Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.
Behrenstraße 35
10117 Berlin
Telefon +49 30 897842-0
Fax +49 30 897842-600
www.fat-ev.de

ISSN 2192-7863

Copyright Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) 2025

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

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

VDA | Verband der Automobilindustrie

FAT | Forschungsvereinigung Automobiltechnik