

Forschungsbericht Nr. 71

Hochautomatisiertes Fahren im Mischverkehr

Vanessa Stange
Mark Vollrath
Matthias Kühn

Forschungsbericht Nr. 71

Hochautomatisiertes Fahren im Mischverkehr – Reaktionen menschlicher Fahrer auf hochautomatisierte Fahrzeuge

Bearbeitet durch:

Lehrstuhl für Ingenieur- und Verkehrspsychologie

Vanessa Stange, M.Sc.

Prof. Dr. Mark Vollrath



Projektleitung bei der UDV:

Dr.-Ing. Matthias Kühn

Impressum

Herausgeber

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
Unfallforschung der Versicherer

Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin
Tel. 030 / 20 20 – 50 00, Fax 030 / 20 20 – 60 00

E-Mail: unfallforschung@gdv.de
Internet: www.udv.de
Facebook: www.facebook.com/unfallforschung
Twitter: [@unfallforschung](https://twitter.com/unfallforschung)
YouTube: www.youtube.com/unfallforschung

Redaktion

Dr.-Ing. Matthias Kühn

Bildnachweise

UDV und siehe Quellenangaben

Erschienen

06/2020

ISBN-Nr.

978-3-948917-01-2

Inhaltsverzeichnis

Hintergrund und Ziele des Projekts	10
Automation beim Fahren	12
Reaktion menschlicher Fahrer auf hochautomatisiertes Fahren im Mischverkehr.....	16
Experteninterviews – wie verhalten sich hochautomatisierte Fahrzeuge?.....	23
Studie 1	26
Hintergrund und Fragestellung	26
Methodik	27
Stichprobe.....	39
Ergebnisse	40
Fragestellungen und Antworten	78
Methodische Bewertung.....	83
Weiterer Forschungsbedarf.....	87
Studie 2	88
Hintergrund und Fragestellung.....	88
Methodik	90
Stichprobe.....	98
Ergebnisse	99
Fragestellungen und Antworten	116
Methodische Bewertung.....	121
Zusammenfassung und Antworten	124
Literatur	128
Anhang	133

Kurzfassung

In naher Zukunft werden hochautomatisierte Fahrzeuge (SAE, 2018) eingeführt werden, die zunächst auf der Autobahn automatisch fahren, wobei sich der Fahrer in dieser Zeit mit anderen Dingen beschäftigen kann. Andere Fahrzeuge mit menschlichen Fahrern werden dann diesen hochautomatisierten Fahrzeugen im Verkehr begegnen. Diese werden wahrscheinlich ein für menschliche Fahrer ungewohntes Verhalten zeigen. Deshalb wurde die erste Studie im Fahrsimulator durchgeführt, um zu untersuchen, wie dieses ungewohnte Verhalten in typischen Interaktionssituationen von menschlichen Fahrern erlebt wird und ob sich gerade bei der Interaktion mit diesen Fahrzeugen durch dieses ungewohnte Verhalten Probleme ergeben. In der zweiten Studie wurden dann längere Fahrten mit unterschiedlichen Durchdringungsraten hochautomatisierter Fahrzeuge untersucht. Als Vorbereitung auf diese Studien wurden zunächst Interviews mit Experten von Automobilherstellern und Zulieferern geführt, um relevante Interaktionssituationen im Mischverkehr zu identifizieren und das Fahrverhalten automatisierter Fahrzeuge in diesen Situationen zu spezifizieren. Dabei zeigte sich, dass sich hochautomatisierte Fahrzeuge im Gegensatz zu menschlichen Fahrern wesentlich defensiver und absolut regelkonform verhalten werden. So halten automatisierte Fahrzeuge zum Beispiel große Sicherheitsabstände ein und halten sich genau an die zulässige Höchstgeschwindigkeit. Weiter wurde auch diskutiert, ob hochautomatisierte Fahrzeuge nach außen als solche gekennzeichnet sein sollen.

Die erste Studie mit $N = 51$ Personen untersuchte den Erstkontakt menschlicher Fahrer in vier ausgewählten Fahrszenarien, die im Wesentlichen Fahrstreifenwechselsituationen sowie die Fahrt bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung umfassten. Dabei wurde einerseits untersucht, wie menschliche Fahrer auf das typische Verhalten der hochautomatisierten Fahrzeuge in diesen Situationen reagiert, zum anderen, wie hochautomatisierte Fahrzeuge auf menschliches Verhalten reagieren und wie diese Reaktionen wiederum durch menschliche Fahrer bewertet werden. Dabei wurde auch die Kennzeichnung der hochautomatisierten Fahrzeuge variiert. In der zweiten Fahrsimulatorstudie mit $N = 51$ Probanden fuhren die Testfahrer auf vier Autobahnabschnitten von 35 km Länge mit

steigender Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge (0 %, 25 %, 50 %, 75 %). Auch hier wurde die Art der Kennzeichnung variiert.

Zusammenfassend zeigen beide Studien, dass hochautomatisierte Fahrzeuge auf der Autobahn dazu beitragen, die Geschwindigkeiten zu reduzieren und Geschwindigkeitsbegrenzungen besser einzuhalten. Beim Einfädeln, Spurwechsel und Überholen wirkt das Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge für menschliche Fahrer angenehm defensiv und kooperativ. Im Verkehrsfluss werden von menschlichen Fahrern hochautomatisierte Fahrzeuge allerdings als Behinderung erlebt, sodass die prinzipiell sicherheitsfördernde Wirkung der reduzierten Geschwindigkeit durch dabei entstehende sicherheitskritische Sekundenabstände verringert werden könnte. Eine entsprechende Abschätzung der Gesamtwirkung ist auf Basis der vorliegenden Studien allerdings nicht möglich. Eine Kennzeichnung des aktuellen Fahrmodus der hochautomatisierten Fahrzeuge könnte dazu beitragen, dass Fahrer das Verhalten der hochautomatisierten Fahrzeuge besser vorhersehen können, sodass die kleineren Sekundenabstände vermieden werden könnten. Dazu sind aber vermutlich längere Lernprozesse notwendig, die im Rahmen der vorliegenden Studien nicht realisiert werden konnten. Der Eindruck der Behinderung durch hochautomatisierte Fahrzeug wird durch eine solche Kennzeichnung allerdings nicht aufzuheben sein.

Abstract

In the near future, highly automated vehicles (SAE, 2018) will be introduced on the motorway. While being in automated driving mode, the driver can pursue secondary activities. Surrounding human drivers will then encounter these highly automated vehicles in mixed traffic. In these encounters, highly automated vehicles will probably show driving behavior that is unusual for human drivers. Therefore, the first driving simulator study investigated how this unfamiliar behavior is experienced by human drivers in typical driving situations and whether problems arise due to this unfamiliar behavior encountering these vehicles. In the second driving simulator study, longer motorway drives with different penetration rates of highly automated vehicles were then examined. In preparation for these studies, interviews were first conducted with experts from automobile manufacturers and suppliers to identify relevant interaction situations in mixed traffic and to specify the driving behavior of automated vehicles in these situations. It was shown that highly automated vehicles will behave much more defensively and absolutely compliant to the rules than human drivers. For example, automated vehicles maintain large safety distances and adhere precisely to the permissible maximum speed. It was also discussed whether highly automated vehicles should be marked as such on the outside.

The first study including $N = 51$ drivers examined the initial contact of human drivers in four selected driving scenarios, which mainly included lane change situations and driving at a speed limit. On the one hand, it was investigated how human drivers react to the typical behavior of highly automated vehicles in these situations, on the other hand, how highly automated vehicles react to human behavior and how these reactions are in turn evaluated by human drivers. In the process, the marking of the highly automated vehicles was also varied. In the second driving simulator study including $N = 51$ drivers, participants drove four motorway sections of 35 km length with increasing penetration rates of automated vehicles (0 %, 25 %, 50 %, 75 %). The type of automated vehicles' external labelling was also varied here.

In summary, both studies show that highly automated vehicles on the motorway help human drivers to reduce speeds and to comply with speed limits. When driving onto the motorway, lane changing and overtaking, the behavior of highly automated vehicles has a pleasantly defensive and cooperative effect on human drivers. In the

flow of traffic, however, highly automated vehicles are experienced by human drivers as a hindrance, so that the safety-promoting effect of reduced speed could be reduced by the resulting safety-critical margins to preceding vehicles. However, a corresponding estimate of the overall effect is not possible on the basis of the present studies. A labelling of the current driving mode of the highly automated vehicles could help drivers to better anticipate the behavior of the highly automated vehicles so that the smaller safety margins could be avoided. However, this would presumably require longer learning processes, which could not be realized within the framework of the present studies. Nevertheless, the impression of being hindered by highly automated vehicles will presumably not be eliminated by an external labelling.

1 Hintergrund und Ziele des Projekts

Momentan bewegen sich teilautomatisierte Fahrzeuge (SAE Level 2; SAE, 2018) zusammen mit nicht-automatisierten Fahrzeugen (SAE Level 0) und assistierten Fahrzeugen (SAE Level 1) im Straßenverkehr. Beim rein manuellen Fahren liegt die Durchführung der Fahraufgabe sowie die Überwachung der Fahrumgebung beim Fahrer. Bei der Teilautomation fährt das Fahrzeug selbstständig, aber der Fahrer muss ständig die Umgebung und die sichere Fahrt des Fahrzeugs überwachen und bei Abweichungen oder Fehlern eingreifen. Ab dem Automatisierungslevel 3 (hochautomatisiertes Fahren) gibt der menschliche Fahrer die Fahraufgabe temporär an das Fahrzeug ab. Er dient jedoch als Rückfallebene für Systemgrenzen und muss bei Erreichen der Systemgrenzen die Fahraufgabe übernehmen. Die Herausforderung bei diesem Level liegt darin, von der Fahrzeugseite aus hinreichend frühzeitig zu erkennen, dass eine Übernahme notwendig ist und den Fahrer entsprechend früh dazu aufzufordern (Vogelpohl et al., 2016, 2018, 2019). Wenn diese Fahrzeuge in den nächsten Jahren in den Verkehr kommen, bewegen sich neben menschlichen Fahrern auch hochautomatisierte Fahrzeuge im Straßenverkehr, wodurch ein Mischverkehr entsteht.

Derzeit führt ein Forschungskonsortium im Rahmen des L3 Pilot Projekts (2017-2021) eine groß angelegte Erprobung von automatisierten Funktionen der Stufe 3 und teilweise Stufe 4 (SAE, 2018) auf öffentlichen Straßen in ganz Europa durch, um herauszufinden, wie sicher und effizient automatisierte Fahrfunktionen im Realverkehr sind (L3 Pilot Projektkonsortium, 2017). Viele Automobilhersteller sind bereits seit einiger Zeit damit beschäftigt, hochautomatisierte Fahrfunktionen zu testen (Ziegler et al., 2014; Aeberhard et al., 2015). Die Motivation der Automobilhersteller für eine zunehmende Automation von Fahrfunktionen ist eine Erhöhung des Fahrkomforts für den Fahrer, das Ermöglichen von Nebenaufgaben während der Fahrt, die Erhöhung der Verkehrssicherheit und eine Verbesserung der Mobilität von eingeschränkten Personengruppen (Trimble et al., 2014). Eine Einführung der Automationsfunktionen ist zunächst auf der Autobahn geplant. Die erste hochautomatisierte Fahrfunktion SAE soll der Stauassistent für Autobahnen sein. Mit dem AI Staupilot von Audi wurde 2018 die Zulassung zunächst angekündigt, dann auf 2020 verschoben. Dieses Fahrzeug übernimmt selbstständig die Fahraufgabe der Längs- und Querführung im Stau- und Kolonnenverkehr bis 60 km/h ohne permanente Überwachung durch den Fahrer. Bei

Erreichen einer Systemgrenze der Automatisierung wird der Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe aufgefordert. Aufgrund der deutschen Rechtsprechung und deutlich höherem Aufwand bei der Zulassung als geplant ist der Staupilot allerdings noch nicht auf dem deutschen Markt verfügbar. Die Simulation von Systemen und Fahrzeugen muss hier deutlich weiterentwickelt werden, um eine Zulassung überhaupt zu ermöglichen (vgl. Kiss & Lepczyk, 2019). Eine Vielzahl an Automobilherstellern planen aber, weitere Funktionen für die freie Fahrt auf der Autobahn in den nächsten Jahren sukzessive auf den Markt zu bringen (z.B. BMW, n.d.; Daimler, n.d.).

Die fortschreitende Automatisierung geht mit psychologischen Herausforderungen für den Fahrer bzw. den Passagier in der Interaktion mit seinem hochautomatisierten Fahrzeug einher. Die Gestaltung dieser Interaktion aus der Perspektive des automatisiert fahrenden (Mit-) Fahrers im Fahrzeug fand in den letzten Jahren in der Human-Factors-Forschung viel Beachtung. Vor allem der Umgang menschlicher Fahrer bzw. Passagiere mit den Systemgrenzen der Automatisierung wurde detailliert behandelt. So beschäftigten sich zahlreiche Studien mit notwendigen Übernahmezeiten für die Rückkehr zur Fahraufgabe nach der Durchführung einer Nebenaufgabe im Fahrzeug (Vogelpohl et al., 2016, 2018; siehe auch Louw et al., 2015; Petermann-Stock, et al., 2013; Radlmayr et al., 2014; Zeeb et al., 2015). Auch erste Studien zum Fahrkomfort eines Passagiers während der hochautomatisierten Fahrt liegen vor (z.B. Bellem et al., 2016, 2018; Hartwich et al., 2015, 2018).

Vernachlässigt wurde dagegen die Frage, wie menschliche Fahrer in nicht-automatisierten Fahrzeugen (SAE Level 0) auf hochautomatisierte Fahrzeuge im Mischverkehr reagieren. Bei der allmählichen Einführung der Hochautomation werden in den nächsten Jahren auf der Autobahn zunächst selten, dann zunehmend häufiger Begegnungen mit hochautomatisierten Fahrzeugen (SAE Level 3) stattfindet. Es ist momentan sehr schwer einzuschätzen, wie sich die Durchdringungsrate in den nächsten Jahren entwickeln wird. Geht man von Erfahrungen mit Fahrerassistenzsystemen aus, ist mit einer langen Übergangsphase von mindestens 30 bis 40 Jahren zu rechnen (Zmud et al., 2019; siehe auch van Loon & Martens, 2015).

Aktuell fehlt Autofahrern in Deutschland noch jede Erfahrung im Umgang mit hochautomatisierten Fahrzeugen im Straßenverkehr. Bei den ersten Begegnungen werden damit ganz unterschiedliche Erwartungen an das Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge zu finden sein, die in hohem Maße durch

unterschiedlich ausgeprägte Kenntnisstände, Erfahrung im Umgang mit technischen Systemen sowie Vertrauen in Automation geprägt sind. Längerfristig werden diese Erwartungen dann durch den Vergleich mit der Realität korrigiert. Allerdings ist aufgrund der Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen damit zu rechnen, dass sich die hochautomatisierten Fahrzeuge anders verhalten als menschliche Fahrer. Ein solches Verhalten kann aversiv wahrgenommen werden, wenn dieses aus der Außenperspektive anderer Autofahrer nicht nachvollziehbar ist (Frehse, 2015). In Extremfällen könnte dies zu neuen Risiken für die Verkehrssicherheit führen (Nyholm & Smids, 2018). Damit ergeben sich folgende zentrale Fragen:

- Welches Fahrverhalten werden hochautomatisierte Fahrzeuge zeigen?
- In welchen Situationen auf der Autobahn ist dies von menschlichen Fahrern zu erleben?
- Wie reagieren diese menschlichen Fahrer auf hochautomatisierte Fahrzeuge im Mischverkehr auf der Autobahn?

Diese Fragen wurden im Rahmen des vorliegenden Projekts mit Hilfe von zwei Studien im Fahrsimulator der TU Braunschweig untersucht. In der ersten Studie standen einzelne Begegnungssequenzen auf der Autobahn im Vordergrund, in denen menschliche Fahrer hochautomatisiertes Fahrverhalten im Vergleich zu menschlichem Fahren erlebten. In der zweiten Studie wurden Begegnungen bei längeren Fahrten mit unterschiedlichen Durchdringungsraten hochautomatisierter Fahrzeuge untersucht, um so einen Eindruck von der zu erwartenden Entwicklung der nächsten Jahrzehnte und ihren Auswirkungen auf das Verkehrsklima zu gewinnen. Insgesamt ergeben sich so Hinweise, welche Problemfelder im Umgang mit hochautomatisierten Fahrzeugen in den nächsten Jahren auftreten könnten und in welcher Weise man diesen durch eine entsprechende Gestaltung der Hochautomation entgegenwirken könnte.

2 Automation beim Fahren

Mit zunehmender Automation übernimmt ein System Aufgaben, welche zuvor von einem Menschen durchgeführt wurden (Hauß & Timpe, 2000). Im Zuge des Fortschritts der Automation im Automobilbereich werden aktive menschliche Fahrer zunehmend zu passiven Passagieren in ihrem eigenen Fahrzeug (Rothenbücher et al., 2016). Diese Passivität hat direkte Auswirkungen auf umgebende menschliche Fahrer im Mischverkehr, da diese nunmehr mit einem Fahrzeug interagieren anstatt

mit dem menschlichen Fahrer im Inneren. Aus dieser Außenwirkung auf andere Fahrer im Mischverkehr ergeben sich zwei aufeinander aufbauende Themenschwerpunkte bezüglich der Reaktionen menschlicher Fahrer auf das Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge: zum einen die Reaktion in einer einzelnen, direkten Begegnung mit einem hochautomatisierten Fahrzeug, zum anderen die Reaktion auf hochautomatisiertes Fahren über den einen längeren Zeitraum hinweg. Bei Letzterem steht die Gewöhnung an hochautomatisiertes Fahren über den ersten Kontakt hinaus im Fokus. Zur Akzeptanz des Fahrverhaltens von hochautomatisierten Fahrzeugen während der hochautomatisierten Fahrt und zu den Wirkungen dieses Verhaltens auf menschliche Fahrer im umgebenden Mischverkehr liegen bislang keine Erkenntnisse vor.

Die Society of Automotive Engineers (SAE, 2018) unterscheidet insgesamt sechs Stufen der Automation (Levels of Automation). Level 0 (keine Automation) entspricht dem manuellen Fahren. Bei Level 1 (Fahrerassistenz) übernimmt das Fahrzeug Längs- oder Querführung (z.B. der Abstandsregelautomat ACC oder eine Lenkunterstützung zur Spurhaltung). Bei 2 (Teilautomation, z.B. Tesla Autopilot) übernimmt das Fahrzeug die Fahrzeugführung. Der Fahrer muss allerdings permanent die Fahrumgebung und das System überwachen, um in Grenzbereichen oder bei Fehlern einzugreifen. Level 2 Automation ist inzwischen bei einer Reihe von Fahrzeugen im Premiumsegment verfügbar. Bei Level 3 (Hochautomatisierung) findet ein Paradigmenwechsel statt, indem das Fahrzeug temporär die Fahraufgabe sowie die Überwachung der Fahrumgebung innerhalb vorab definierter Systemgrenzen übernimmt. Hierbei dient der menschliche Fahrer stets als Rückfallebene. Sobald eine Systemgrenze erreicht ist, wird der Fahrer zur Übernahme aufgefordert. Hierbei liegt die Annahme zugrunde, dass sich ein Fahrer im Falle einer möglichen Übernahme der Fahraufgabe situationsangemessen verhält. Ab Level 4 ist nicht mehr der menschliche Fahrer, sondern das System die Rückfallebene, wenn eine Systemgrenze erreicht wird. Bei Level 5 wird schließlich die komplette Fahrt von Start bis Ziel vollautomatisch durchgeführt.

Neben dem Klassifikationssystem der SAE gibt es ähnliche Klassifikationen der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt, Gasser et al., 2012), die dann vom VDA aufgegriffen wurde (VDA, n.d.). Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt, Gasser et al., 2012) unterscheidet zwischen keiner Automatisierung (driver only), assistierter Fahrt (assisted), Teilautomatisierung (partially automated), Hochautomatisierung (highly automated) und Vollautomatisierung (fully automated). Die Stufen 0 bis 3 sind

inhaltlich äquivalent zu den Stufen 0 bis 3 der SAE. Bei der Vollautomatisierung differenziert die SAE wie oben dargestellt zwischen den Leveln 4 und 5 (Vollautomatisierung in einem dezidierten Bereich, Stufe 4; und einer räumlich unbegrenzten Vollautomatisierung; Stufe 5).

In diesem Bericht wird aus Gründen der Einheitlichkeit für die weiteren Ausführungen die weitverbreitete Klassifikation der SAE (2018) zugrunde gelegt.

Die ersten Stufen der Automation im engeren Sinne waren der Tempomat und das Adaptive Cruise Control. Beim Tempomat wird eine frei wählbare Geschwindigkeit automatisch gehalten. Dies ist vor allem bei geringem Verkehr nützlich. Das Adaptive Cruise Control erweitert diese Funktion um eine automatische Abstandshaltung, sodass der Fahrer in bestimmten Situationen wie der Autobahn von der Längsführung entlastet wird und nur noch die Querführung selbst manuell durchführen muss (Level 1). Die Automationssysteme der Stufe 2 kombinieren Längs- und Querführung miteinander. Der Autopilot im Tesla ist hier das bekannteste System. Der Fahrer kann sich weitgehend vom Auto fahren lassen, muss allerdings stets das System überwachen und notfalls eingreifen.

Aktuell testen viele Automobilhersteller Funktionen im Bereich der Hochautomatisierung auf deutschen Autobahnen (z.B. Aeberhard et al., 2015). Einige Produkte, wie beispielweise der AI Staupilot von Audi sind bereits fester Bestandteil der Produktpalette, allerdings noch nicht für den Endkunden zugänglich. Der Verband der Automobilindustrie (VDA, n.d.) prognostiziert, dass ab dem Jahr 2020 hochautomatisiertes Fahren (Level 3) auf der Autobahn, auch über das Fahren im Stau hinaus, möglich sein wird. Die Autobahn gilt als das naheliegende Einführungssetting, denn der Straßenverkehr folgt festen Strukturen und die Anzahl der Interaktionssituationen zwischen Verkehrsteilnehmern ist begrenzt, bzw. weniger komplex im Vergleich zum innerstädtischen Straßenverkehr (VDA, n.d.; vgl. Wachenfeld et al., 2015). In Studien von Bansal et al. (2016) und Continental (2013) gaben Studienteilnehmer an, dass sie eine Automationsfunktion vor allem in monotonen Fahrsituationen auf der Autobahn und im Stau nutzen würde. Diese Ergebnisse decken sich mit der Autobahn bzw. autobahnähnlichen Straßen mit baulich getrennten Fahrstreifen als Einführungszenarien.

Geht man davon aus, dass 2020 tatsächlich die ersten hochautomatisierten Fahrfunktionen verfügbar sein werden, lässt sich die Durchdringungsrate im Verkehr abschätzen. Nach Angaben des Kraftfahrtbundesamts liegt der Bestand von

zugelassenen Fahrzeugen im Januar 2019 bei etwa 47 Millionen Pkw (Kraftfahrtbundesamt, 2019a). Jährlich werden etwa 3.5 Millionen Pkw neu zugelassen (Kraftfahrtbundesamt, 2019b). Abbildung 1 zeigt den geschätzten Durchsatz in den nächsten 30 Jahren, wenn 10 %, 50 % oder 100 % der neu zugelassenen Pkw über Hochautomation verfügen. Unter der optimistischen Annahme, dass jedes Neufahrzeug mit Hochautomation ausgestattet ist, hätten 2033 alle Pkw Hochautomation. Allerdings wäre dabei noch unklar, wie häufig und in welchen Situationen diese auch genutzt werden würde. Selbst bei einer noch optimistischen Ausstattungsrate von 50 % der Neufahrzeuge wäre erst 2046 mit einer 100 % Durchdringung zu rechnen. Bei eher realistischen 10 % der Neufahrzeuge wären 2050 23 % der Fahrzeuge mit Hochautomation ausgestattet, die vermutlich aber nicht in allen Situationen genutzt werden kann.

An diesen Schätzungen wird deutlich, dass eine breite Durchdringung von Hochautomation erst im Laufe der nächsten Jahrzehnte erwartet werden kann. Menschliche Fahrer werden in den nächsten Jahren zunächst nur vereinzelt hochautomatisiert fahrenden Pkw begegnen. Eigene Erfahrungen mit dem Verhalten dieser Fahrzeuge können sich damit erst allmählich ausbilden. Im Vordergrund werden zunächst einzelne Fahrzeuge in speziellen Situationen stehen, mit denen man dann eine Interaktion erleben kann. Diese Situationen stehen daher auch im Fokus der ersten Simulatorstudie im Rahmen dieses Projekts. Im folgenden Abschnitt werden vorliegende Studien mit einer entsprechenden Thematik kurz dargestellt.

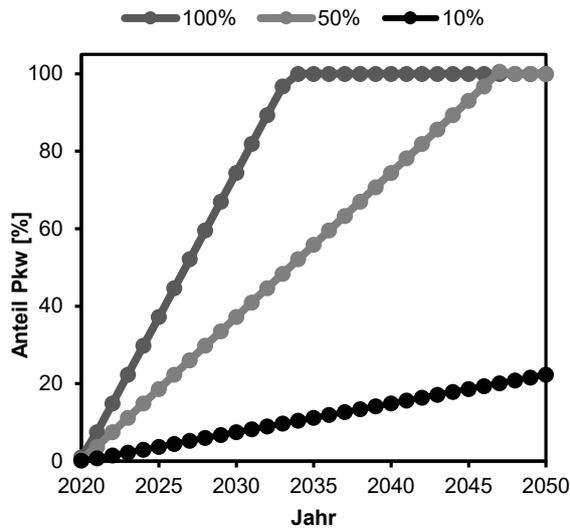


Abbildung 1: Geschätzter Durchsatz von Pkw mit Hochautomation in den nächsten 30 Jahren, wenn 10 %, 50 % oder 100 % aller neu zugelassenen Pkw über Hochautomation verfügt.

3 Reaktion menschlicher Fahrer auf hochautomatisiertes Fahren im Mischverkehr

Ein reibungsloser und sicherer Verkehrsablauf hängt ganz wesentlich vom Verhalten der beteiligten Verkehrsteilnehmer ab. Menschliche Fahrer bewerten eine neue Verkehrssituation auf Basis vergangener ähnlicher Fahrsituationen (Chauvin & Saad, 2000). Aus diesen Erfahrungen bilden sich Erwartungen darüber, wie sich andere Verkehrsteilnehmer verhalten werden. Diese Erwartungen führen wiederum zu eigenen Verhaltensentscheidungen (Alexander & Lunenfeld, 1979). Verhaltensentscheidungen und Handlungen menschlicher Fahrer basieren damit maßgeblich auf ihren Erwartungen an das Verhalten anderer Fahrer. Dies hat auch zur Folge, dass ein von den Erwartungen abweichendes Verhalten irritieren oder zu kritischen Situationen führen könnte. Entsprechend ist zu prüfen, wie menschliche Fahrer oder Verkehrsteilnehmer auf das Verhalten automatisierter Fahrzeuge reagieren, insbesondere dann, wenn deren Verhalten von dem Verhalten menschlicher Fahrer abweicht.

Dies untersuchten Preuk et al. (2016a, 2016b) für eine Kreuzungssituation mit Hilfe einer Fahrsimulatorstudie mit mehreren Fahrern pro Fahrt gleichzeitig. Die Automation bestand in dieser Situation darin, dass das entsprechende Fahrzeug bei Rot bereits ein ganzes Stück (4 Meter oder 10 Meter) vor der Haltelinie zum Stehen kam. Kurz

bevor (1.3 Sekunden oder 2.6 Sekunden) die Ampel auf Grün umsprang, konnte die Automation so bereits losfahren und beim Grünwerden der Ampel die Haltlinie überfahren, um so die Kreuzung schneller passieren zu können. Diese Funktion wurde durch Kommunikation mit der Ampel ermöglicht.

Menschliche Fahrer befanden sich in der Studie direkt hinter dem so ausgerüsteten Fahrzeug und in weiteren Fahrzeugen danach. Die Fahrer erhielten vor der Studie keine Informationen über das ausgerüstete Fahrzeug, um so spontane Reaktionen auf dieses unerwartete Verhalten zu untersuchen.

Die minimalen Sekundenabstände zu ausgerüsteten Fahrzeugen waren gegenüber nicht-ausgerüsteten Fahrzeugen geringer, wenn das ausgerüstete Fahrzeug 10 Meter vor der Haltlinie zum Stehen kam, nicht jedoch bei 4 Metern zur Haltlinie. Die geringen Abstände führten bei einem Fahrer zu einem Auffahrunfall mit dem ausgerüsteten Fahrzeug. Diese Befunde sprechen dafür, dass sicherheitskritische Situationen entstehen können, je stärker das Fahrverhalten ausgerüsteter Fahrzeuge vom menschlichen Fahrverhalten abweicht, da menschliche Fahrer ihr eigenes Fahrverhalten stärker anpassen müssen.

Die Verhaltensbewertung des Fahrzeugs fiel gemischt aus, wobei der vergrößerte Abstand zur Haltlinie sowohl als aversiv, aber auch als nützlich bewertet wurde. Das Losfahren vor dem Grünwerden der Ampel wurde generell als aversiv bewertet. Dabei war die Position der menschlichen Fahrer entscheidend. Fahrer, die direkt hinter dem ausgerüsteten Fahrzeug fuhren, bewerteten dessen Verhalten aversiver als weitere darauffolgende Fahrer. Diese Bewertung ist nachvollziehbar, denn normalerweise halten Fahrzeuge vor Ampeln an der Haltlinie. Menschliche Fahrer hinter dem ausgerüsteten Fahrzeug müssen entsprechend früher bremsen und anhalten, wobei der Fahrer direkt hinter dem ausgerüsteten Fahrzeug unmittelbar betroffen ist. Dennoch profitierten Fahrer von den ausgerüsteten Fahrzeugen, indem sie sich Ampeln ohne unnötige Geschwindigkeitsveränderungen näherten und diese circa 1 Sekunde schneller überquerten. Für den Verkehrsfluss bedeutet das, dass pro Grünphase einer Ampel bis zu einem Fahrzeug mehr die Ampel überqueren kann.

Neben der spontanen Reaktion der Fahrer auf das unerwartete Fahrverhalten wurde untersucht, ob Fahrer das unerwartete Fahrverhalten beim Halten vor der Ampel und beim Grünwerden der Ampel bemerkten und wie sie sich dieses erklärten. Den vergrößerten Abstand zur Haltlinie bemerkten 50 % der Fahrer hinter dem ausgerüsteten Fahrzeug. Davon glaubten 17 %, der Fahrer im ausgerüsteten Fahrzeug

habe über zusätzliche Informationen über die Ampelphasen. 14 % waren der Überzeugung, der Fahrer verfüge über ein Fahrassistenzsystem. 38 % dachten, es handle sich um einen besonders erfahreneren Fahrer. Das frühe Losfahren an der Ampel bemerkten 35 % der Fahrer das veränderte Fahrverhalten. Davon glaubten 52 %, dass der vorausfahrende Fahrer über zusätzliche Informationen zu den Ampelphasen oder über ein Fahrassistenzsystem verfügte. 14 % waren der Überzeugung, es handle sich um einen besonders erfahrenen Fahrer. 33 % konnten sich das Fahrverhalten nicht erklären oder lieferten eine inkorrekte Erklärung.

In einer weiteren Fahrsimulatorstudie untersuchten Preuk et al. (2018), ob Informationen über das Ampelassistenzsystem nicht ausgerüsteten Fahrern dabei hilft, das Verhalten des ausgerüsteten Fahrers besser zu verstehen, weniger Frustration aufgrund des unerwarteten Verhaltens zu erleben und ihr eigenes Fahrverhalten an das veränderte Fahrverhalten des ausgerüsteten Fahrers anzupassen. Dazu wurden die Probanden in drei Gruppen aufgeteilt: Eine Gruppe erhielt keine Informationen, eine zweite Gruppe erhielt die Informationen, dass der vorausfahrende Fahrer über ein Ampelassistenzsystem verfügt, und eine dritte Gruppe erhielt zusätzlich detaillierte Informationen zur Funktionsweise und den Vorteilen eines solchen Assistenzsystems. Entgegen der Hypothese der Autoren zeigte sich, dass detaillierte Informationen weder zur Minderung von Frustration noch zu einem sichereren Fahrverhalten bei den nicht ausgerüsteten Fahrern führte im Vergleich zu keiner Information. Stattdessen war der nicht ausgerüstete Fahrer direkt hinter dem ausgerüsteten Fahrer besonders frustriert von dessen Verhalten, unabhängig von der Information über das Assistenzsystem. Darüber hinaus fuhren nicht ausgerüstete Fahrer, welche zuvor detaillierte Informationen erhalten hatten, tendenziell dichter auf den ausgerüsteten Fahrer auf. Die Autoren vermuten, dass es sich bei diesem Verhalten um Neugier der nicht ausgerüsteten Fahrer handelt, denn diese versuchen möglicherweise die Funktionsweise des Assistenzsystems nachzuvollziehen, und fahren deshalb dichter auf. Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass zusätzliche Informationen in dieser Studie nicht zu einem sicheren Verhalten der ausgerüsteten Fahrer beigetragen hat.

Eine Videostudie von Josten et al. (2019) mit N = 32 Probanden verglich die Erwartungen an das Fahrverhalten von teil- bzw. hochautomatisierten Fahrzeugen und menschlichen Fahrern hinsichtlich der Kritikalität von Fahrmanövern. Eine der untersuchten Fahrsituationen war eine Fahrstreifenwechselsituation auf der Autobahn.

Hierbei fuhr das Zielfahrzeug mit einer Geschwindigkeit von 130 km/h auf dem rechten Fahrstreifen einer Autobahn hinter einem langsameren Lkw. Das Egofahrzeug fuhr auf dem linken Fahrstreifen entweder mit 130 km/h oder mit 150 km/h. Die gezeigten Videos hatten eine Länge von 17 bis 22 Sekunden und ließen den Verlauf der Verkehrssituation offen.

Die Probanden sollten vorhersagen, welches Fahrmanöver das Zielfahrzeug in den nächsten Sekunden ausführen wird. Dazu schätzten die Probanden die Wahrscheinlichkeiten ein, dass das Zielfahrzeug eine der drei folgenden Verhaltensweisen zeigt: (1) Keinen Fahrstreifenwechsel durchführen, (2) einen engen Fahrstreifenwechsel vor dem Egofahrzeug, und (3) einen Fahrstreifenwechsel hinter dem Egofahrzeug. Vorab bekamen die Probanden die Information, dass hochautomatisierte Fahrzeuge einen Fahrstreifenwechsel selbstständig durchführen, wohingegen teilautomatisierte Fahrzeuge vor einem Fahrstreifenwechsel an den menschlichen Fahrer übergibt, welcher das Fahrmanöver plant und ausführt.

Die Ergebnisse zeigten, dass Probanden die Wahrscheinlichkeit eines engen Fahrstreifenwechsels signifikant höher einschätzten, wenn das Zielfahrzeug einen menschlichen Fahrer hatte. Menschlichen Fahrern wurde in dieser Situation also signifikant öfter ein sicherheitskritisches Verhalten zugetraut als automatisierten Fahrzeugen. Dieser Befund war unabhängig von der Geschwindigkeit der beiden Fahrzeuge, obwohl die Differenzgeschwindigkeit zwischen Ego Fahrzeug und Zielfahrzeug in der einen Situation bei 20 km/h lag, in der anderen bei 0 km/h. Gleichzeitig bedeutet dieser Befund, dass von automatisierten Fahrzeugen erwartet wird, sich für die sicheren Verhaltensweisen in dieser Situation zu entscheiden. Es wurde dabei kein Unterschied zwischen teilautomatisierten und hochautomatisierten Fahrzeugen gefunden. Die Autoren argumentieren, dass der Befund teilweise auf der positiven Einstellung der Probanden automatisierten Fahrzeugen gegenüber beruhen könnte sowie der Überzeugung, dass automatisierte Fahrzeuge die Sicherheit im Straßenverkehr erhöhen werden.

Im Rahmen des GATEway Projekts (2017) wurde mittels Fahrstudien untersucht, wie menschliche Fahrer auf automatisierte Fahrzeuge in zwei Mischverkehrsszenarien, einem Fahrstreifenwechsel auf einer mehrspurigen Straße und einer Kreuzungssituation im urbanen Raum, reagieren. Die Reaktion menschlicher Fahrer wurde hinsichtlich der Wahrnehmungsaspekte Sicherheit, Komfort, Frustration und Schwierigkeit untersucht. Variiert wurden die äußerliche Erkennbarkeit des

automatisierten Fahrmodus (hoch: LiDAR Sensoren auf Dachreling und niedrig: nur Sensoren, ohne Dachreling) und die Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge im Verkehr (hoch: 80 %, niedrig: 20 %). In der Kreuzungssituation waren die gewählten Lücken vor automatisierten Fahrzeug und manuellen Fahrzeugen gleichgroß. Bezüglich der untersuchten Wahrnehmungsaspekte zeigten sich keine Unterschiede hinsichtlich der variierten Durchdringungsrate und der Erkennbarkeit des automatisierten Fahrmodus. In der Fahrstreifenwechselsituation wurden bei 360 Durchgängen lediglich 45 Fahrstreifenwechsel in die vorgesehene Lücke durchgeführt, wobei fast die Hälfte aller Fahrstreifenwechsel von 4 der 60 Probanden vorgenommen wurde. Die Mehrheit der Probanden führten den Fahrstreifenwechsel erst hinter dem Zielfahrzeug durch. Dementsprechend war die Datenbasis gering. In dieser Situation hatten weder der Fahrzeugtyp (automatisiert vs. menschlich) noch die Erkennbarkeit des automatisierten Fahrmodus einen signifikanten Einfluss auf die wahrgenommene Sicherheit, den Komfort, die Frustration und die Schwierigkeit. Automatisierte Zielfahrzeuge unterschieden sich in dieser Studie jedoch nur äußerlich von den menschgesteuerten Zielfahrzeugen, nicht im Hinblick auf das gezeigte Fahrverhalten. Unterschiede im Fahrverhalten zwischen automatisierten Fahrzeugen und menschlichen Fahrer sind jedoch zu erwarten, weil sie sich sehr eng an die Verkehrsregeln halten (Parkin et al., 2016).

Um zu vermeiden, dass menschliche Verkehrsteilnehmer falsche Erwartungen aufbauen und das Verständnis für das Verhalten automatisierter Fahrzeuge zu verbessern, wird eine Kennzeichnung als automatisiertes Fahrzeug oder eigene Kommunikationsmöglichkeit vorgeschlagen. Wenn Fahrer erkennen, dass es sich um ein automatisiertes Fahrzeug handelt, können sie Erwartungen darüber bilden, wie sich dieses verhalten wird, sodass falsche Erwartungen vermieden werden. Dies setzt allerdings voraus, dass menschliche Verkehrsteilnehmer umfassend informiert werden oder eine gewisse Lernerfahrung machen können. Ergänzend werden daher Kommunikationsmöglichkeit nach außen entwickelt, die auch als „external human-machine-interface (eHMI)“, also Anzeige nach außen, bezeichnet werden. Das automatisierte Fahrzeug könnte z.B. gegenüber einem Fußgänger kommunizieren, dass es anhalten wird, sodass er die Straße überqueren kann. Die Kommunikation automatisierter mittels eHMI ist ein relativ neues Forschungsfeld, in dem noch offen ist, welche Informationen wie kommuniziert werden können und sollen. Abgesehen von der kommunizierten Information koexistieren in der Literatur mehrere Ansätze aus

der Industrie und universitärer Forschung, wie eine solche Kommunikation nach außen ausgestaltet werden könnte (Bazilinsky et al., 2019). Bisherige Forschung beschäftigt sich vor allem mit visuellen, teils anthropomorphen eHMIs in Form von Lichtkennzeichnungen am Fahrzeug mittels farblicher LED Leisten, Symbolen und/oder Textbotschaften am Fahrzeug (Bazilinsky et al., 2019; Schieben et al., 2019), aber auch Lichtprojektionen auf die Straße (z.B. Powelleit et al., 2019; Mercedes-Benz, n.d.). Akustische eHMIs sind dagegen eine Randerscheinung in der Diskussion.

Schieben et al. (2019) differenzieren auf Basis eines Literaturreviews vier Arten von Informationen, welche ein automatisiertes Fahrzeug mittels Anzeige nach außen an andere Verkehrsteilnehmer kommunizieren kann:

- Informationen über den Fahrmodus: Verkehrsteilnehmer erhalten Informationen darüber, ob das Fahrzeug sich derzeit im automatisierten, fahrerlosen Modus befindet oder von einem Fahrer gesteuert wird.
- Informationen über das nächste Fahrmanöver: Verkehrsteilnehmer erhalten Informationen über derzeitige und geplante Fahrmanöver des automatisierten Fahrzeugs.
- Informationen über Wahrnehmung der Umgebung außerhalb des automatisierten Fahrzeugs: Verkehrsteilnehmer erhalten Informationen darüber, ob ein automatisiertes Fahrzeug sie erkannt hat.
- Informationen über die Kooperationsmöglichkeiten mit dem automatisierten Fahrzeug: Verkehrsteilnehmer erhalten Verhaltensempfehlungen, z.B., dass sie die Straßen vor dem automatisierten Fahrzeug überqueren dürfen.

Für die Interaktion menschlicher Fahrer mit hochautomatisierten Fahrzeugen auf der Autobahn sind die ersten beiden Kategorien mit Informationen zum Fahrmodus und Informationen über das nächste Fahrmanöver relevant. Die letzten beiden Kategorien sind hingegen relevanter für die Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern im urbanen Raum.

Es ist bislang weitgehend unklar, ob und in welchem Ausmaß das bloße Wissen um den automatisierten Fahrmodus eines Fahrzeugs einen Nutzen für Verkehrsteilnehmer mit Mischverkehr mit sich bringt (Schieben et al., 2019). Studien zu diesem Thema beschäftigen sich fast ausschließlich mit der Kommunikation von Informationen an schwächere Verkehrsteilnehmer im urbanen Raum (z.B. Hensch et al., 2019; Rouchitsas & Alm, 2019). Nur zwei Studien (Brown & Laurier, 2017;

GATEway, 2017) thematisieren die Kommunikation mit menschlichen Fahrern. Dabei ist die vorliegende empirische Evidenz hinsichtlich der Kommunikation von Informationen über den automatisierten Fahrmodus widersprüchlich.

Brown und Laurier (2017) analysierten Realfahrtvideos von Social-Media Plattformen, in denen selbstfahrende Google-Waymo- und Tesla-Fahrzeuge im Autopilotmodus mit menschlichen Fahrern im Mischverkehr interagieren. Sie fanden, dass die automatisierten Fahrzeuge menschliche Fahrer im Mischverkehr in einer Reihe von Situationen mit ihrem unerwarteten Fahrverhalten verwirrten, z.B. durch einen unvorhersehbaren Fahrstreifenwechsel. Um dieser Verwirrung entgegenzuwirken und mehr Transparenz hinsichtlich des automatisierten Fahrverhaltens zu schaffen, setzt Google mittlerweile auf eine Kennzeichnung des automatisierten Fahrmodus nach außen. Mithilfe dieser Informationen sollen menschliche Fahrer ihre Erwartungshaltung an das Google Fahrzeug anpassen können und so besser vorhersehen können, wie sich das Fahrzeug verhält. Millard-Ball (2018) merkte an, dass eine Kennzeichnung des automatisierten Fahrmodus an außen möglicherweise zu riskanten Verhaltensweisen menschlicher Verkehrsteilnehmer führen könnte. Diese Theorie konnte für menschliche Fahrer jedoch bislang noch nicht empirisch untermauert werden, wie die Ergebnisse des GATEway Projekts (2017) zeigen. Im Rahmen dieses Projekts fanden britische Forscher, dass sich menschliche Fahrer aufgrund von Informationen über den Fahrmodus nach außen nicht anders gegenüber diesen verhielten. Stattdessen bildete das antizipierte Fahrverhalten, d.h. die Vorhersage über das nächste Fahrmanöver automatisierter Fahrzeuge, die Grundlage für das Verhalten menschlicher Fahrer in den untersuchten Mischverkehrssituationen (Schieben et al., 2019). Allerdings wird die Kommunikation von Informationen über das nächste Fahrmanöver im Rahmen des GATEway Projekts (2017) nicht explizit untersucht. Weitere Studien, die sich mit der Kommunikation von Informationen über das nächste Fahrmanöver beschäftigten, konzentrierten sich die Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern (z.B. Rothenbücher et al., 2016).

Damit liegen bislang kaum Studien vor, die sich mit den Reaktionen menschlicher Fahrer auf das von Erwartungen abweichende Verhalten automatisierter Fahrzeuge beschäftigen. Zudem untersucht die Studie von Preuk et al. (2016a, 2016b) eine spezielle Assistenzfunktion in einer Kreuzungssituation, wobei hochautomatisierte Fahrzeuge zunächst im Bereich des Autobahnverkehrs eingeführt werden. Von der Situation her ist damit die Studie von Josten et al. (2019) relevanter. Hier wurden

allerdings nicht die Reaktionen auf das Verhalten automatisierter Fahrzeuge untersucht, sondern welche Erwartungen menschliche Fahrer vermutlich hätten. Seitens der Methodik ist die Studie von GATEway (2017) relevant, da die menschlichen Reaktionen auf automatisierte Fahrzeuge hier im Rahmen einer Fahrsimulatorstudie untersucht wurde, jedoch wurden hier keine eHMI Varianten getestet. Bei den Kommunikationsmöglichkeiten handelt es sich momentan um Konzepte, deren Wirkung und Einsatz gerade im Bereich der Autobahnen noch völlig ungeklärt ist.

Damit bleibt die Frage offen, in welchen Situationen hochautomatisierte Fahrzeuge vermutlich ein Verhalten zeigen werden, dass für menschliche Fahrer unerwartet sein könnte. Empirisch ist diese Frage zunächst nicht zu klären, da momentan noch keine hochautomatisierten Fahrzeuge serienmäßig verfügbar sind. Aus diesem Grund wurden Experteninterviews durchgeführt, die im folgenden Abschnitt beschrieben werden.

4 Experteninterviews – wie verhalten sich hochautomatisierte Fahrzeuge?

Da noch keine hochautomatisierten Fahrzeuge serienmäßig verfügbar sind, wurden Informationen über deren zu erwartendes Verhalten über Experteninterviews gewonnen. Dazu wurde ein Interviewleitfaden entwickelt, mit dessen Hilfe zunächst relevante Interaktionssituationen identifiziert werden sollten, in denen menschliche Fahrer bei der Markteinführung hochautomatisierter Fahrzeuge den ersten direkten Kontakt mit diesen haben. Für diese Situationen wurde weiter erfragt, welches Verhalten hier zu erwarten wäre und inwieweit sich dieses vom Verhalten menschlicher Fahrer unterscheiden wird. Da auffällige Verhaltensweisen gerade beim Übergang vom hochautomatisierten Fahren zum manuellen Fahren auftreten könnten, sollten außerdem Systemgrenzen und entsprechende Fahrsituationen beschrieben werden. Dazu gehörte auch der risikominimale Zustand, den hochautomatisierte Fahrzeuge dann erreichen, wenn der Fahrer auf die Übernahmeaufforderung nicht reagiert. Schließlich wurde erfragt, ob die hochautomatisierten Fahrzeuge nach Meinung der Experten gekennzeichnet werden bzw. ob und wie diese Fahrzeuge nach außen kommunizieren. Der Interviewleitfaden und eine Zusammenfassung der Antworten der Interviewpartner findet sich in Anhang A.

Es wurden N = 9 Experten aus der universitären Forschung (1), in Deutschland tätigen OEMs (4) und in Deutschland tätigen Automobilzulieferern (4) befragt. Alle befragten Experten waren aktiv in der Forschung zur Fahrzeugautomatisierung tätig und deckten die Themenfelder Fahrzeugtechnik, Fahrassistenzsystementwicklung und Human Factors ab. Dabei wurde von diesen Experten großer Wert daraufgelegt, dass keinerlei Firmennamen genannt werden sollten. Die Interviews wurden mündlich durchgeführt und anschließend transkribiert. Für jede Frage wurden dann die Antworten der verschiedenen Experten vergleichend zusammengestellt, die insgesamt sehr gut übereinstimmten. Diese wurden dann thematisch zusammengefasst als Basis für die folgenden Studien im Fahrsimulator.

Die Experten waren einig, dass das hochautomatisierte Fahren zunächst auf ausgewählten Autobahnstrecken eingeführt werden wird, wobei vermutlich zumindest am Anfang nicht alle Situationen auf der Autobahn hochautomatisiert gefahren werden können. Die Auf- und Abfahrt wird zunächst manuell durchgeführt werden müssen. Baustellen werden vermutlich nicht hochautomatisiert gefahren werden können. An Autobahnkreuzen hängt es von der Bauweise und der Fahrtrichtung ab, ob diese hochautomatisiert gefahren werden können. In Stausituationen (bis 60 km/h) wird man hochautomatisiert fahren können. Das Fahrzeug wird dabei auch eine Rettungsgasse bilden. Die Fahrt im Stau ist wahrscheinlich auch das Einführungsszenario für hochautomatisiertes Fahren (vgl. Wachenfeld et al., 2015). Auf Landstraßen könnte hochautomatisiertes Fahren dann möglich sein, wenn diese autobahnähnlich ausgebaut sind. Wann hochautomatisiertes Fahren in städtischen Bereichen verfügbar sein wird, konnte nicht angegeben werden. Teilweise wurde vermutet, dass hier andere Konzepte eine größere Rolle spielen könnten.

Die hochautomatisierten Fahrzeuge werden auf Basis von Sensorinformationen und Ortung unterwegs sein. Eine Vernetzung mit anderen Fahrzeugen (Car2Car) und der Infrastruktur wird nicht zwingend notwendig sein, könnte aber längerfristig die Verfügbarkeit verbessern.

Vom Verhalten her wird die Geschwindigkeit vermutlich auf 130 km/h begrenzt sein, auch bedingt durch die Abhängigkeit von der entsprechenden Sensorik im Fahrzeug. Das Fahrzeug wird sich strikt an die zulässige Höchstgeschwindigkeit halten, wobei einzelne Experten es für möglich hielten, leichte Überschreitungen zuzulassen. Dabei wird das Fahrzeug so fahren, dass es bereits am Straßenschild die Höchstgeschwindigkeit einhält. Es wird beim Aufheben der

Geschwindigkeitsbegrenzung erst ab dem entsprechenden Schild beschleunigen. Hochautomatisierte Fahrzeuge müssen den gesetzlich vorgeschriebenen Mindestabstand einhalten und fahren typischerweise auf dem rechten Fahrstreifen. Sie führen selbständig Überholmanöver aus und fahren bei sehr langsamen Fahrzeugen, die sich auf dem rechten Fahrstreifen befinden, auch auf dem linken Fahrstreifen der Autobahn. Rechtzeitig vor jedem Fahrstreifenwechsel wird geblinkt. Die Spurhaltung wird vermutlich genauer sein als die bei menschlichen Fahrern, wobei in der Mitte des Fahrstreifens gefahren wird. Die Stärke und Charakteristik von Beschleunigungen und Verzögerungen könnte innerhalb dieses Rahmens herstellerspezifisch unterschiedlich gestaltet werden.

Der Fahrer wird per Video überwacht werden, um Einschlafen zu verhindern. Für die Übernahmeaufforderung wird es sicherlich akustisch-visuelle Signale geben, möglicherweise auch haptische Komponenten. Wenn der Fahrer nicht reagiert, wird ein risikominimaler Zustand angestrebt. Dabei wird das Fahrzeug, wenn möglich, nach rechts auf den Standstreifen fahren und dort anhalten.

Insgesamt werden menschliche Fahrer hochautomatisierte Fahrzeuge vereinzelt auf der Autobahn erleben können. Auf der Basis dieser Beschreibung ergaben sich nur wenige Situationen, in denen das Verhalten der hochautomatisierten Fahrzeuge anders sein könnte als das menschlicher Fahrer:

- Bei Geschwindigkeitsbegrenzungen wird das hochautomatisierte Fahrzeug sehr früh verzögern und sehr spät wieder beschleunigen und sich währenddessen strikt an die Geschwindigkeitsbegrenzung halten.
- Wenn sich hochautomatisierte Fahrzeuge einem langsameren Fahrzeug auf dem eigenen Fahrstreifen nähern, werden sie bereits bei einem recht großen Abstand den Überholvorgang einleiten.
- Wenn manuelle Fahrer zum Überholen vor einem hochautomatisierten Fahrzeug auf dem linken Fahrstreifen wechseln, wird dieses schnell reagieren, sobald der menschliche Fahrer den Fahrstreifen gewechselt ist und einen großen Abstand zu diesem halten.
- Dies geschieht auch, wenn man als manueller Fahrer vor einem hochautomatisierten Fahrzeug auf die Autobahn fährt.

Diese Situationen bildeten dann die Grundlage für die Simulatorstudie, in der die Reaktionen von menschlichen Fahrern auf dieses abweichende Verhalten hochautomatisierter Fahrer untersucht werden sollte.

Hinsichtlich der Frage, ob und in welcher Form automatisierte Fahrzeuge nach außen sichtbar gekennzeichnet sein werden, waren sich die Experten uneinig. Die Experten betonten, dass zu dieser Frage weitere Forschung notwendig ist. Aus diesem Grund wurde eine Außenkennzeichnung im Rahmen der folgenden Studie untersucht. Die Studie wird im folgenden Abschnitt dargestellt.

5 Studie 1: Reaktion menschlicher Fahrer auf hochautomatisiertes Fahrverhalten im Mischverkehr auf der Autobahn

5.1 Hintergrund und Fragestellung

Das Wissen darüber, wie sich andere Verkehrsteilnehmer verhalten werden, ist eine wesentliche Voraussetzung für den effizienten und sicheren Verkehrsablauf. Dabei greifen menschliche Fahrer in neuen Verkehrssituationen auf ihr Erfahrungswissen aus vorherigen, ähnlichen Verkehrssituationen zurück (Chauvin & Saad, 2000). Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie menschliche Fahrer im Erstkontakt auf hochautomatisierte Fahrzeuge reagieren, die sich anders verhalten als man es von Menschen in derselben Situation erwarten würde. Auf Basis von Experteninterviews konnten einige Situationen auf der Autobahn identifiziert werden, in denen hochautomatisierte Fahrzeuge sich vermutlich entsprechend anders als menschliche Fahrer verhalten werden.

Das Ziel der ersten Studie war es deshalb, die Reaktionen menschlicher Fahrer auf dieses andere Verhalten bzw. auf mögliche Verhaltensunterschiede zwischen hochautomatisierten und manuell gesteuerten Fahrzeugen zu untersuchen. Zu diesem Zweck erlebten menschliche Fahrer dieselben Situationen zweimal mit einem hochautomatisierten Fahrzeug und zweimal mit einem menschlichen Fahrer. Dabei wurde vermutet, dass das Verhalten der hochautomatisierten Fahrzeuge nicht den Erwartungen der Fahrer entspricht und deshalb auffällig oder sogar gefährlich erscheinen könnte. Um diese Überlegung weiter zu untersuchen, wurden in einer Gruppe von Probanden die automatisierten Fahrzeuge deutlich sichtbar gekennzeichnet. In dieser Gruppe entsprach die Kennzeichnung der automatisierten Fahrzeuge also dem aktuellen automatisierten Fahrmodus. Damit wurde den Probanden klar, dass es sich nicht um menschliche Fahrer handelt, sodass auch die

Erwartungen geringer sein sollten, dass diese ein menschliches Verhalten zeigen. Aktuell ist zu vermuten, dass sich automatisierte Fahrzeuge nicht wie menschliche Fahrer verhalten werden. In dieser Gruppe müssten damit auch die Reaktionen schwächer sein oder zumindest das Verhalten anders bewertet werden. Um umgekehrt auch zu prüfen, inwieweit die Kennzeichnung selbst zusätzliche, eigene Erwartungen weckt, wurden die Fahrzeuge in einer dritten Gruppe falsch gekennzeichnet. Hier wurden die menschlichen Fahrer als hochautomatisierte Fahrzeuge gekennzeichnet, während die hochautomatisierten Fahrzeuge keine Kennzeichnung hatten. Diese nichtzutreffende Kennzeichnung entspricht einerseits dem Fall, dass ein Fahrzeug, welches generell in der Lage ist, hochautomatisiert zu fahren, aktuell vom menschlichen Fahrer gesteuert wird. Andererseits wird der Fall abgedeckt, dass sich ein nicht gekennzeichnetes automatisiertes Fahrzeug anders verhält als menschliche Fahrer.

In der Studie wurden sowohl die direkten Verhaltenseffekte in diesen Interaktionen untersucht als auch die Wahrnehmung der automatisierten Fahrweise, das Sicherheitsempfinden der Probanden in der Interaktion mit dem hochautomatisierten Fahrzeug und die Bewertung dieses Fahrzeugs.

5.2 Methodik

5.2.1 Versuchsplan

In der Studie wurden zwei Einflussgrößen als unabhängige Variablen untersucht. Tabelle 1 zeigt den Versuchsplan im Überblick. In diesem zweifaktoriellen Versuchsplan wurden als erste unabhängige Variable die Kennzeichnung der automatisierten Fahrzeuge variiert. In der ersten Gruppe von Probanden war keines der Fahrzeuge gekennzeichnet. In der zweiten Gruppe waren die automatisierten Fahrzeuge mit einem blauen Lichtrechteck gekennzeichnet (siehe Abbildung 2), wobei die Kennzeichnung den aktuellen automatisierten Fahrmodus nach außen anzeigte. In der dritten Gruppe waren die menschlichen Fahrer als automatisierte Fahrzeuge mit dem blauen Lichtrechteck gekennzeichnet, während die automatisierten Fahrzeuge nicht gekennzeichnet waren.

Das Lichtrechteck wurde gewählt, um eine sehr gute Identifizierung automatisierter Fahrzeuge durch die Probanden im Fahrsimulator, gerade auch im Rückspiegel, zu

ermöglichen. Ob automatisierte Fahrzeuge in Zukunft gekennzeichnet werden und wie diese Kennzeichnung aussehen wird, ist momentan völlig unklar, erscheint aber auch für den vorliegenden Versuch unerheblich. Wesentlich ist hier nur, dass die Probanden die Kennzeichnung auf den ersten Blick gut erkennen konnten.

Jeder Proband wurde per Zufall einer der drei Versuchsgruppen zugewiesen. Alle Probanden wurden vor dem Versuch über hochautomatisiertes Fahren kurz informiert. Sie wurden instruiert, dass sie Interaktionen mit verschiedenen Fahrzeugen erleben würden, wobei ein Teil von diesen von menschlichen Fahrern, ein anderer Teil von hochautomatisierten Fahrzeugen durchgeführt werden würden. In den beiden Gruppen mit Kennzeichnung wurde zusätzlich darauf hingewiesen, wie die hochautomatisierten Fahrzeuge gekennzeichnet waren. Die Gruppe ohne Kennzeichnung erhielt entsprechend die Information, dass die hochautomatisierten Fahrzeuge nicht gekennzeichnet seien und sich dementsprechend äußerlich nicht von manuell gesteuerten Fahrzeuge unterscheiden.

Jeder Proband erlebte jede der ausgewählten Fahrsituationen viermal, wobei jeweils zwei automatisierte und zwei menschliche Varianten des Zielfahrzeugs präsentiert wurden, je nach Gruppe mit oder ohne entsprechender Kennzeichnung. Diese vier Stufen der zweiten unabhängigen Variablen des Fahrverhaltens wurde von jedem Probanden erlebt, wobei die Reihenfolge der Zielfahrzeugvarianten innerhalb der ausgewählten Fahrsituationen mittels lateinischer Quadrate randomisiert wurde und die Reihenfolge der Fahrsituationen permutiert wurde. Die fünfte Fahrsituation erlebten die Probanden einmal, und zwar trafen die Probanden hier auf ein automatisiertes Fahrzeug in der Verhaltensvariante Automatisiert 1.

Tabelle 1: Versuchsplan der Studie mit den beiden Faktoren Kennzeichnung und Fahrverhalten.

		Faktor B: Fahrverhalten			
		Automatisiert Variante 1	Automatisiert Variante 2	Menschlich Variante 1	Menschlich Variante 2
Faktor A: Kennzeichnung	Keine Kennzeichnung	VP 1-17	VP 1-17	VP 1-17	VP 1-17
	Richtige Kennzeichnung	VP 18-32	VP 18-32	VP 18-32	VP 18-32
	Falsche Kennzeichnung	VP 33-51	VP 33-51	VP 33-51	VP 33-51



Abbildung 2: Kennzeichnung der hochautomatisierten Fahrzeuge mit Hilfe einer lichtbasierten Markierung. Das hochautomatisierte Fahrzeug erscheint so in einem gut sichtbaren Lichtrechteck.

Entsprechend den oben dargestellten Experteninterviews wurden dann die in Tabelle 2 beschriebenen Fahrsituationen im Fahr Simulator dargestellt. Grundlage für die Fahrsituationen war eine Autobahn mit zwei Fahrstreifen pro Fahrtrichtung. Auf Basis der Experteninterviews wurde davon ausgegangen, dass sich automatisierte Fahrzeuge absolut regeltreu verhalten und eher defensiv und langsam fahren und große Abstände zu voranfahrenden Fahrzeugen halten. Das menschliche Fahrverhalten ist dagegen gerade in Bezug auf die Wahl von Geschwindigkeit und Abstand nicht unbedingt regeltreu und sicher. In der Regel werden vielmehr die Geschwindigkeiten leicht überschritten und zu geringe Abstände eingehalten.

Entsprechend wurde das Verhalten der hochautomatisierten und menschlichen Fahrzeuge in den ausgewählten Szenarien umgesetzt. Die detaillierten Angaben zum Verhalten sind in der Tabelle 2 dargestellt und werden im Folgenden kurz beschrieben. In der ersten Situation (S01) fährt der Proband im Ego-Fahrzeug auf die Autobahn auf, während sich das Zielfahrzeug auf dem rechten Fahrstreifen von hinten nähert. Der erste menschliche Fahrer wechselt auf den linken Fahrstreifen, um das Einfädeln zu erleichtern. Die beiden Varianten der Automation verzögern und halten einen relativ großen Abstand (je nach Variante etwas unterschiedlich) zum Ego-Fahrzeug. Der zweite menschliche Fahrer beschleunigt in dieser Situation, um damit anzudeuten, dass das Ego-Fahrzeug erst nach ihm einscheren soll.

In der zweiten Situation (S02) ist sehr vergleichbar mit der ersten Situation. Hier nähert sich der Proband im Ego-Fahrzeug einem langsam fahrenden Lkw auf dem rechten Fahrstreifen. Dabei wird er von anderen Fahrzeugen auf dem linken Fahrstreifen überholt. Es ergibt sich dann eine Lücke, sodass er überholen kann. Dabei nähert sich von hinten das Zielfahrzeug auf dem linken Fahrstreifen. Der erste menschliche Fahrer lässt das Ego-Fahrzeug zwar einscheren, fährt aber relativ dicht auf. Der zweite menschliche Fahrer beschleunigt sogar, um dem Ego-Fahrzeug anzuzeigen, dass es nicht überholen sollte. Die beiden automatisierten Varianten verzögern und halten einen relativ großen Abstand.

In der dritten Situation (S03) befindet sich der Proband im Ego-Fahrzeug auf dem linken Fahrstreifen, um langsame Lkw zu überholen. Hinter einem der Lkw nähert sich das Zielfahrzeug, das vor dem Ego-Fahrzeug einschert, um den Lkw zu überholen. Die beiden menschlichen Fahrer wechseln die Fahrstreifen erst bei einem relativ kleinen Abstand zu dem vorausfahrenden Lkw. Die beiden hochautomatisierten Fahrzeuge wechseln schon sehr früh mit großem Abstand zum Lkw.

In der vierten Situation (S04) überholt das Zielfahrzeug eine Kolonne von langsamen Lkw, während der Proband im Ego-Fahrzeug dem Zielfahrzeug folgt. Kurz nach dem Beginn des Überholvorgangs erscheint eine Geschwindigkeitsbegrenzung auf 80 km/h. Die beiden menschlichen Fahrer verzögern erst bei Erreichen des Schilds und beschleunigen dann, wenn die Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung sichtbar wird. Dabei sind Beschleunigung und Verzögerung leicht unterschiedlich. Einer der menschlichen Fahrer überschreitet die Geschwindigkeitsbegrenzung leicht, der andere deutlich. Die beiden hochautomatisierten Varianten verzögern unterschiedlich stark, aber so, dass beide beim Schild die Höchstgeschwindigkeit erreichen. Beide

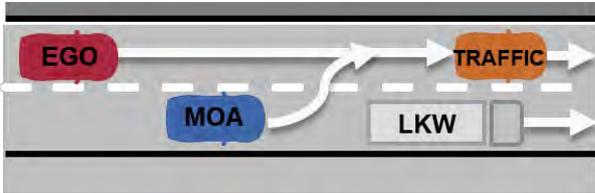
halten sich exakt an die Geschwindigkeitsbegrenzung. Eine Variante beschleunigt dann bereits etwas früher als die zweite, die erst am Schild mit der Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung schneller wird.

Ganz am Ende der Fahrt wurde bei allen Probanden noch eine Transfersituation (S05) realisiert, in der das Ego-Fahrzeug auf dem linken Fahrstreifen ist, um eine Kolonne von Pkw zu überholen. Das Zielfahrzeug ist hinter dem Lkw und möchte den Fahrstreifen wechseln um zu überholen. Gleichzeitig wird aber eine Geschwindigkeitsbegrenzung auf 80 km/h sichtbar. Bei den hochautomatisierten Fahrzeugen muss das Ego-Fahrzeug also damit rechnen, dass dieses beim Überholen auf die zulässige Geschwindigkeit verzögern wird. Hier wird untersucht, inwieweit die menschlichen Fahrer das Zielfahrzeug dennoch einscheren lassen. In der Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung ist das Zielfahrzeug nicht markiert, in den anderen beiden Gruppen jeweils als automatisiertes Fahrzeug gekennzeichnet.

Mittels der Experteninterviews wurden somit zwei Arten von Interaktionen im Mischverkehr auf der Autobahn identifiziert und im Simulator umgesetzt. In den ersten beiden Fahrsituationen (S01, S02) reagiert ein automatisiertes Fahrzeug bzw. ein menschlicher Fahrer auf das Fahrverhalten des Probanden im vorausfahrenden Ego-Fahrzeug. In den letzten drei Fahrsituationen (S03, S04, S05) ist es der Proband im Ego-Fahrzeug, der auf das Fahrverhalten des vorausfahrenden automatisierten Fahrzeugs bzw. des vorausfahrenden menschlichen Fahrers reagiert.

Tabelle 2: Beschreibung der untersuchten Interaktionssituationen.

Fahrsituation	Beschreibung der Fahrsituation
<p>Vor das Zielfahrzeug auf die Autobahn auffahren (S01)</p>	<p>Der Proband beschleunigt auf dem Beschleunigungsstreifen, um auf die Autobahn aufzufahren. Auf dem rechten Fahrstreifen nähert sich das Zielfahrzeug von hinten. Der Proband schert vor dem Zielfahrzeug auf den rechten Fahrstreifen ein.</p>  <p>Variante 1 Menschlich: Der menschliche Fahrer im Zielfahrzeug erkennt, dass sich der Proband auf dem Beschleunigungsstreifen befindet und bald auf den rechten Fahrstreifen wechseln wird. Das Zielfahrzeug wechselt daher auf den linken Fahrstreifen, um dem Probanden den Fahrstreifenwechsel zu erleichtern.</p> <p>Variante 2 Menschlich: Der menschliche Fahrer im Zielfahrzeug erkennt, dass sich der Proband auf dem Beschleunigungsstreifen befindet und bald auf den rechten Fahrstreifen wechseln wird. Das Zielfahrzeug beschleunigt daher auf dem rechten Fahrstreifen, um dem Probanden zu signalisieren, dass er erst hinter ihm einscheren sollte.</p> <p>Variante 1 Automatisiert: Nachdem der Proband auf den rechten Fahrstreifen gewechselt ist, hält das Zielfahrzeug einen großen Abstand von 2.0s.</p> <p>Variante 2 Automatisiert: Nachdem der Proband auf den rechten Fahrstreifen gewechselt ist, hält das Zielfahrzeug einen großen Abstand von 1.8s.</p>
<p>Zum Überholen in den Fahrstreifen vor dem Zielfahrzeug wechseln (S02)</p>	<p>Der Proband nähert sich mit 120 km/h einem langsam vorausfahrenden Lkw (80 km/h) auf den rechten Fahrstreifen, während er von schnell fahrenden PKW auf den linken Fahrstreifen überholt wird. Vor dem Zielfahrzeug ergibt sich eine größere Lücke, die groß genug ist, um den Lkw zu überholen. Der Proband überholt den Lkw und schert vor dem Zielfahrzeug auf den linken Fahrstreifen ein.</p>  <p>Variante 1 Menschlich: Nach dem Fahrstreifenwechsel fährt der menschliche Fahrer im Zielfahrzeug dicht auf mit einem zeitlichen Abstand von 1.0s zum Probanden.</p> <p>Variante 2 Menschlich: Sobald der Proband beginnt, den Fahrstreifen zu wechseln, beschleunigt der menschliche Fahrer im Zielfahrzeug, sodass der Proband den Versuch einzuscheren möglicherweise abbricht.</p> <p>Variante 1 Automatisiert: Nach dem Wechsel auf den linken Fahrstreifen hält das Zielfahrzeug einen großen Abstand von 2.0s zum Probanden.</p> <p>Variante 2 Automatisiert: : Nach dem Wechsel auf den linken Fahrstreifen hält das Zielfahrzeug einen großen Abstand von 1.8s zum Probanden.</p>
<p>Zielfahrzeug zum Überholen einscheren lassen (S03)</p>	<p>Der Proband fährt mit 140 km/h auf dem rechten Fahrstreifen. Er wechselt dann auf den linken Fahrstreifen, um eine Kolonne langsam fahrender PKW zu überholen. Unter diesen Fahrzeugen befindet sich ein Zielfahrzeug, welches einen langsamen vorausfahrenden Lkw (80 km/h) überholen wird. Das Zielfahrzeug überholt den Lkw und schert vor dem Probanden auf den linken Fahrstreifen ein. Der Fahrstreifenwechsel wird vom Zielfahrzeug durch Blinken angekündigt,</p>

Fahrsituation	Beschreibung der Fahrsituation
	<p>sobald der Überholvorgang beginnt und das Zielfahrzeug seine laterale Position im Fahrstreifen ändert.</p>  <p>Variante 1 Menschlich: Das Zielfahrzeug wechselt auf den linken Fahrstreifen, wenn es einen zeitlichen Abstand von 1.2 s zu dem langsam vorausfahrenden Lkw erreicht hat.</p> <p>Variante 2 Menschlich: Das Zielfahrzeug auf den linken Fahrstreifen, wenn es einen zeitlichen Abstand von 1.0 s zu dem langsam vorausfahrenden Lkw erreicht hat.</p> <p>Variante 1 Automatisiert: Das Zielfahrzeug auf den linken Fahrstreifen, wenn es einen zeitlichen Abstand von 2.2 s zu dem langsam vorausfahrenden Lkw erreicht hat.</p> <p>Variante 2 Automatisiert: Das Zielfahrzeug auf den linken Fahrstreifen, wenn es einen zeitlichen Abstand von 2.0 s zu dem langsam vorausfahrenden Lkw erreicht hat.</p>
<p>Folgefahrt hinter Zielfahrzeug (S04)</p>	<p>Der Proband fährt mit 120 km/h auf dem rechten Fahrstreifen und nähert sich einem Zielfahrzeug an, dem der Proband folgen soll. Nach einer freien Fahrt nähern sich Zielfahrzeug und Proband einem langsam fahrenden Lkw (80 km/h) an, welchen beide beginnen zu überholen. Während sich das Zielfahrzeug und das Fahrzeug der Proband während des Überholvorgangs auf dem linken Fahrstreifen befinden, wird die Geschwindigkeit auf 80 km/h begrenzt. Nach Abschluss des Überholvorgangs wird die Geschwindigkeitsbeschränkung aufgehoben.</p>  <p>Variante 1 Menschlich: Das Zielfahrzeug verzögert bei der Einführung der Geschwindigkeitsbegrenzung mit 1.5 m/s^2 auf der Höhe des Schildes und hält dann eine Geschwindigkeit von 85 km/h. Bei Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung beschleunigt der menschliche Fahrer im Zielfahrzeug mit 2.0 m/s^2, sobald das Schild in Sichtweite ist.</p> <p>Variante 2 Menschlich: Das Zielfahrzeug verzögert bei der Einführung der Geschwindigkeitsbegrenzung mit 2.0 m/s^2 auf der Höhe des Schildes und hält dann eine Geschwindigkeit von 90 km/h. Bei Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung beschleunigt der menschliche Fahrer im Zielfahrzeug mit 2.5 m/s^2, sobald das Schild in Sichtweite ist.</p> <p>Variante 1 Automatisiert: Das Zielfahrzeug verzögert bereits vor dem Schild mit 1.5 m/s^2 und erreicht die Zielgeschwindigkeit von 80 km/h am Schild. Bei Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung beschleunigt das Zielfahrzeug mit 2.0 m/s^2 erst auf Höhe des Schildes.</p> <p>Variante 2 Automatisiert: Das Zielfahrzeug verzögert bereits vor dem Schild mit 2.5 m/s^2 und erreicht die Zielgeschwindigkeit von 80 km/h am Schild. Bei Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung beschleunigt das Zielfahrzeug mit 2.5 m/s^2 erst auf Höhe des Schildes.</p>

Fahrsituation	Beschreibung der Fahrsituation
<p data-bbox="220 510 400 573">Transfersituation (S05)</p>	<p data-bbox="443 282 1374 416">Der Proband fährt mit 130 km/h auf dem rechten Fahrstreifen. Er wechselt dann auf den linken Fahrstreifen, um eine Kolonne langsam fahrender PKW zu überholen. Unter diesen Fahrzeugen befindet sich das Zielfahrzeug. Dieses will einen langsamen vorausfahrenden Lkw (80 km/h) kurz vor dem Beginn einer 80km Zone überholen. Alle Probanden erlebten dieselbe Variante des</p> <div data-bbox="448 443 1051 663" style="text-align: center;"> </div> <p data-bbox="443 674 576 696">Zielfahrzeugs.</p> <p data-bbox="443 707 1374 808">Variante 1 Automatisiert: Das Zielfahrzeug auf dem rechten Fahrstreifen will den vorausfahrenden Lkw überholen. Wenn das Ego-Fahrzeug zu dicht auffährt (weniger als 1.6s) bricht das Zielfahrzeug den Überholvorgang ab und bleibt hinter dem langsam fahrenden Lkw.</p>

5.2.2 Durchführung

Nach der Begrüßung durch die Versuchsleiterin gaben die Probanden ihr Einverständnis zur wissenschaftlichen Nutzung der Daten. Anschließend beantworteten die Probanden den soziodemographischen Fragebogen, welcher Fragen zum Mobilitätsverhalten, zur Erfahrung mit Fahrassistenzsystemen, zur Technikaffinität und zum Kenntnisstand sowie zur Einstellung zum Thema Automatisiertes Fahren beinhaltete.

Verwendet wurde der Fahrsimulator des Lehrstuhls für Ingenieur- und Verkehrspsychologie an der Technischen Universität Braunschweig. Die Szenarien wurden mit der Simulationssoftware SILAB (Krueger et al., 2005) in der Version 6 erstellt. Die Szenerie wurde mit drei Beamern auf Leinwände projiziert, welche das Sichtfeld im Bereich von etwa 180° abdecken (siehe Abbildung 3). Die Probanden befanden sich in einer Sitzkiste mit Fahrer- und Beifahrersitz und Pedalerie. Der Rückspiegel wurde als Rechteck auf die frontale Leinwand projiziert. Zusätzlich steuerte die Simulation die beiden Seitenspiegel rechts und links sowie das Kombiinstrument mit Geschwindigkeitsanzeige an.



Abbildung 3: Fahrsimulator des Lehrstuhls für Ingenieur- und Verkehrspsychologie.

Die Fahrt begann mit einer Trainingsfahrt auf der Autobahn zur Gewöhnung an das Fahren im Fahrsimulator, welche vor allem für das Halten der Geschwindigkeit und die Spurhaltung wichtig war. Nach der Trainingsfahrt erfolgte die Zuordnung in eine der drei Versuchsgruppen mit den unterschiedlichen Kennzeichnungen. Die Gruppen mit Kennzeichnung enthielten eine entsprechende Information darüber, wie sie die hochautomatisierten Fahrzeuge erkennen könnten. Alle Probanden wurden darüber informiert, dass es um die Bewertung des Verhaltens hochautomatisierter Fahrzeuge im Vergleich zu menschlichen Fahrern ginge.

Alle Probanden erhielten vor jeder Fahrsituation eine genaue Beschreibung dieser Situation, sodass sie sich ganz auf das Verhalten des Zielfahrzeugs konzentrieren konnten. Sie wurden instruiert, das eigene Fahrverhalten nur so auszuführen, dass sie sich dabei vollständig sicher fühlten. Die vollständigen Instruktionen befinden sich im Anhang.

Nach jeder erlebten Variante der Fahrsituation fuhren die Probanden auf einen Autobahnparkplatz, wo sie zur vorangegangenen Situation befragt wurden. Nach dem Ende der Fahrsimulatorfahrten beantworteten die Probanden einen abschließenden Fragebogen, welcher die möglichen Auswirkungen hochautomatisierte Fahrzeuge auf menschliche Fahrer im Straßenverkehr der Zukunft sowie eine Bewertung der Kennzeichnung der hochautomatisierten Fahrzeuge in der erlebten Versuchsfahrt beinhaltete.

5.2.3 Messung der abhängigen Variablen

5.2.3.1 Subjektive Messung

Die Probanden bewerteten die Begegnung mit dem Zielfahrzeug nach jeder erlebten Fahrsituation. Tabelle 3 zeigt die Fragen und die verwendeten Antwortkategorien (5-stufige bzw. 8-stufige Likert-Skala) im Überblick. Die verschiedenen Aspekte des Verhaltens des Zielfahrzeugs (Mensch oder Automation) in den definierten Situationen wurden damit detailliert abgefragt und bewertet.

Tabelle 3: Überblick über die abgefragten Dimensionen und die Skala direkt nach jeder Fahrt.

Dimension	Messskala	
Fahrweise	defensiv	dynamisch
Verhalten vorhersehbar	sehr wenig	sehr viel
Verhalten angenehm	sehr wenig	sehr viel
Verhalten kooperativ	sehr wenig	sehr viel
Verärgert über Verhalten	sehr wenig	sehr viel
Verhalten risikoreich	sehr wenig	sehr viel
Verhalten rücksichtslos	sehr wenig	sehr viel
Abstandsverhalten angenehm	sehr wenig	sehr viel
Situation anstrengend	gar nicht	sehr
Gesamtbewertung der Fahrsituation	harmlos	nicht akzeptabel
Fahrmodus	automatisiert	menschlich
*Bremsstärke bei Geschwindigkeitsbegrenzung	sehr wenig	sehr viel
*Bremsverhalten angenehm	sehr wenig	sehr viel
*Bremsverhalten angenehm	sehr wenig	sehr viel
*Bremsverhalten risikoreich	sehr wenig	sehr viel
*Ausmaß der Beschleunigung bei Geschwindigkeitsbegrenzung	sehr wenig	sehr viel
*Beschleunigungsverhalten angenehm	sehr wenig	sehr viel
*Beschleunigungsverhalten risikoreich	sehr wenig	sehr viel

*Nur bei Szenario Folgefahrt (S04) gemessen.

Für die Gesamtbewertung der Situation wurde die in Abbildung 4 dargestellte Skala verwendet, die sich an die Skala zur Bewertung der Kritikalität von Fahr- und Verkehrssituationen von Neukum et al. (2009) anlehnt.

Situation nicht akzeptabel	
Gefährlich	sehr
	mittel
	wenig
Unangenehm	sehr
	mittel
	wenig
Harmlos	

Abbildung 4: Skala zur Gesamtbewertung der Situation.

Zum Abschluss der Befragung nach jeder Situation wurde erfragt, ob die Probanden das Verhalten des Zielfahrzeugs einem automatisierten Fahrzeug oder einem menschlichen Fahrer zuordnen würden. Auch hier wurde eine 5-stufige Likert-Skala verwendet.

Bei der Transfersituation wurden die Probanden gefragt, ob das Zielfahrzeug in den eigenen Fahrstreifen gewechselt hätte (ja/nein) und ob man es bewusst daran gehindert hätte, den Fahrstreifen zu wechseln (ja/nein). Wurde diese Frage bejaht, sollten Gründe für dieses Verhalten genannt werden. Auch hier wurde dann die Gesamtbewertung der Situation und die Zuordnung des Fahrverhaltens zum Fahrmodus, wie oben beschrieben, erfragt.

In der Nachbefragung am Ende des Versuchs wurde in allen Gruppen erfragt, wie die Probanden die Idee, automatisierte Fahrzeuge im bei der Einführung auf öffentlichen Straßen zu kennzeichnen, bewerten. Dazu wurde eine 5-stufigen Likert Skala (1 = sehr schlecht bis 5 = sehr gut) verwendet. Weiterhin sollten die Probanden angeben, auf welchen Straßentypen eine solche Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge Anwendung finden sollte. Weiterhin wurden die Probanden in den beiden Gruppen mit Kennzeichnung während der Simulatorfahrt gefragt, ob sie sich aufgrund der Kennzeichnung anders verhalten haben. Probanden in der Gruppe ohne Kennzeichnung wurden gefragt, ob sie sich eine Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge während der Simulatorfahrt gewünscht hätten. Schließlich wurde noch die Einstellung zum automatisierten Fahren insgesamt auf mittels einer 5-stufigen Likert Skala abgefragt (1 = sehr negativ bis 5 = sehr positiv).

5.2.3.2 Objektive Messungen

Die Fahrdaten wurden in einem Messtakt von 60 Hz aufgezeichnet. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die zwei relevanten Verhaltensaspekte, die in den verschiedenen Situationen untersucht wurden. Zum einen ist das die eigene Geschwindigkeit der Probanden im Ego-Fahrzeug, und zum anderen der (minimale) Sekundenabstand (time-headway) als Indikator für die Kritikalität der Interaktion. Hinsichtlich der Kritikalität wäre eine Berechnung der Time-to-Collision (TTC) zu vorausfahrenden und nachfolgenden Zielfahrzeugen ebenso möglich gewesen. Allerdings bietet die Messung des Sekundenabstands den Vorteil, dass dieser auch berechnet werden kann, wenn sich zwei Fahrzeuge nicht auf einem Kollisionskurs befinden, d.h., wenn ein Folgefahrzeug langsamer ist als das vorausfahrende Fahrzeug (Vogel, 2003).

Bei den ersten beiden Szenarien wurde die eigene Geschwindigkeit und der Sekundenabstand zum nachfolgenden Zielfahrzeug in dem Moment gemessen, in dem der menschliche Fahrer die Spur wechselte. In der dritten Situation wurde zunächst die Geschwindigkeit des Egofahrzeugs beim Spurwechsel des Zielfahrzeugs erfasst, außerdem der minimale Sekundenabstand während des Überholens nach dem Spurwechsel des Zielfahrzeugs in die eigene Spur. In den beiden Folgefahrtsituationen mit Geschwindigkeitsbegrenzung wurde der mittlere und minimale Sekundenabstand während der Gültigkeit der Begrenzung berechnet. Eine Messung der Geschwindigkeit wäre hier sinnlos, da diese im Wesentlichen durch das vorausfahrende Fahrzeug bedingt ist.

Tabelle 4: Überblick über relevante Verhaltensaspekte in den verschiedenen Situationen.

Szenario	Verhaltensaspekte
Vor das Zielfahrzeug auf die Autobahn auffahren (S01)	Zum Zeitpunkt des Spurwechsels: - Eigene Geschwindigkeit - Sekundenabstand zum nachfolgenden Zielfahrzeug
Zum Überholen in den Fahrstreifen vor dem Zielfahrzeug wechseln (S02)	Zum Zeitpunkt des Spurwechsels: - Eigene Geschwindigkeit - Sekundenabstand zum nachfolgenden Zielfahrzeug
Zielfahrzeug zum Überholen einscheren lassen (S03)	Zum Zeitpunkt des Spurwechsels: - Eigene Geschwindigkeit Während des Überholvorgangs auf dem linken Fahrstreifen: - Minimaler Sekundenabstand zum vorausfahrenden Zielfahrzeug
Folgefahrt (S04)	Im Bereich der Geschwindigkeitsbegrenzung: - Mittlerer und minimaler Sekundenabstand
Transfersituation (S05)	Im Bereich der Geschwindigkeitsbegrenzung: - Mittlerer und minimaler Sekundenabstand

5.3 Stichprobe

An der Fahrsimulatorstudie nahmen $N = 51$ Probanden im Alter von 20 bis 71 Jahren ($M = 34.9$ Jahre, $SD = 15.1$ Jahre, davon 22 weiblich) teil. Die Probanden besaßen den Führerschein im Durchschnitt seit 18 Jahren ($SD = 15.4$ Jahre). 54.9 % der Probanden gaben an, mindestens mehrmals in der Woche Auto zu fahren. Weitere 17.6 % fuhren mehrmals im Monat. Fast die Hälfte (49 %) der Probanden hatte eine jährliche Fahrleistung von weniger als 9000 km. 51 % der Probanden gaben an, mehr als 9000 km im Jahr zu fahren. 70.6 % Probanden hatten Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen, davon 33 mit dem Tempomat, 13 mit einem Tempomat mit automatischer Abstandsregelung, 17 mit einem Spurhalteassistenten bzw. mit einem Spurverlassenswarner, 14 mit einem Notbremsassistenten, 9 mit einem Spurwechselassistenten bzw. mit einem Totwinkelassistent, 9 mit einem Stauassistenten und 18 mit einem Parkassistenten.

Die Technikaffinität der Probanden (ATI Skala; Franke, Attig & Wessel, 2019) war mit einem Mittelwert von $M = 3.8$ ($SD = 0.5$) durchschnittlich, wobei männliche Probanden signifikant technikaffiner waren als weibliche Probanden ($t(49) = 2.34$, $p = .023$). Etwa die Hälfte der Probanden (51.0 %) hatte bereits mehrmals Erfahrung im Fahrsimulator gesammelt, 15.7 % waren bereits einmal im Fahrsimulator gefahren und 33.3% hatten bislang keine Erfahrung mit einem Fahrsimulator. Die Testungen fanden im Zeitraum von Januar bis März 2019 in einem Zeitraum von 8:30 Uhr bis 20:30 Uhr statt.

Die Einstellung der Probanden zum automatisierten Fahren war überwiegend positiv (siehe Abbildung 5). 52.9 % Probanden gaben an, dass sie dem Automatisierten Fahren gegenüber eher positiv eingestellt sind. Weitere 7.8 % gaben an, sehr positiv eingestellt zu sein. 33.3 % Probanden waren neutral eingestellt, und eine Minderheit von 5.9 % Probanden eher negativ.

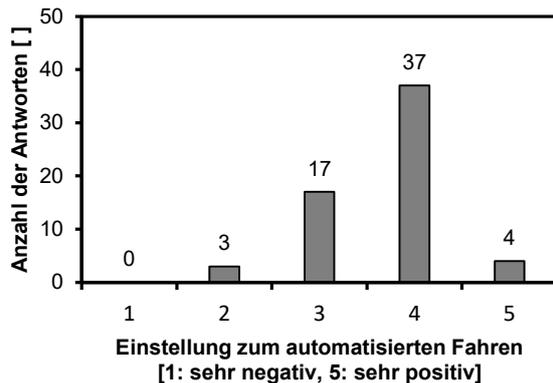


Abbildung 5: Einstellung der Probanden zum automatisierten Fahren.

5.4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse zunächst in den fünf Fahrscenarien dargestellt. Hierbei werden die Ergebnisse der subjektiven Befragungen und der Fahrdatenanalyse zusammen dargestellt.

5.4.1 Vor das Zielfahrzeug auf die Autobahn auffahren (S01)

Bei der Frage, ob das Fahrverhalten des Zielfahrzeugs eher einem menschlichen oder automatisierten Fahrverhalten entspricht, zeigte sich in der zweifaktoriellen Varianzanalyse (Faktor A: Kennzeichnung, Faktor B: Automation vs. manuelles Fahrzeug) keine Hauptwirkung der Kennzeichnung ($F(2,48) = 0.44$, $p = .648$), aber eine Hauptwirkung der Automation ($F(1,48) = 22.19$, $p < .001$, $\eta^2_{par} = .32$) und eine Wechselwirkung ($F(2,48) = 9.59$, $p < .001$, $\eta^2_{par} = .29$). Wie Abbildung 6 links zeigt, werden bei keiner und richtiger Kennzeichnung die Verhaltensweisen deutlich unterschiedlich und eher zutreffend eingeordnet. Bei falscher Kennzeichnung zeigt sich der Konflikt zwischen der Kennzeichnung und dem tatsächlichen Verhalten. Die als menschlich gekennzeichneten Fahrweisen sind eher automationsähnlich und

umgekehrt, sodass die Probanden sehr unsicher sind, wie die Verhaltensweisen zu bewerten sind und sich entsprechend nicht entscheiden können (3 = unentschieden). Damit wirkt die Kennzeichnung sehr deutlich und menschliche Verhaltensweisen, die als automatisiert gekennzeichnet sind, wirken für die Probanden weniger menschlich. Umgekehrt erleichtert aber eine zutreffende Kennzeichnung nicht die Bewertung der Verhaltensweisen, verstärkt also auch nicht die Bewertung als automatisiertes Verhalten.

Die beiden automatisierten Varianten unterschieden sich in dieser Situation in dem Sekundenabstand, mit dem die automatisierten Zielfahrzeuge auf dem rechten Fahrstreifen hinter dem Probanden blieben (2.0 s und 1.8 s Sekundenabstand). Die manuellen Fahrzeuge zeigten zwei unterschiedliche Verhaltensweisen. Das eine manuelle Zielfahrzeug war kooperativ und wechselte auf den linken Fahrstreifen, um dem Probanden das Auffahren auf die Autobahn zu erleichtern. Das andere manuelle Fahrzeug hingegen beschleunigte auf dem rechten Fahrstreifen, um dem Probanden damit das Auffahren hinter ihm nahezulegen. Die Bewertung dieser vier Varianten ist in Abbildung 6 rechts dargestellt.

Bei den beiden automatisierten Varianten erscheint das Verhalten eindeutiger automatisiert, wenn das Fahrzeug mit einem großen minimalen Sekundenabstand zum Fahrzeug des Probanden auf dem rechten Fahrstreifen fährt. Das Beschleunigen auf dem rechten Fahrstreifen erscheint stärker menschlich, wobei das Verhalten mit richtiger Kennzeichnung noch eindeutiger menschlich wirkt als mit falscher bzw. ohne Kennzeichnung. Der kooperative Wechsel auf den linken Fahrstreifen wirkt unterschiedlich in Abhängigkeit von der Kennzeichnung. Dieses Verhalten wirkt ohne Kennzeichnung eher menschlich, bei der gekennzeichneten Variante als weniger menschlich.

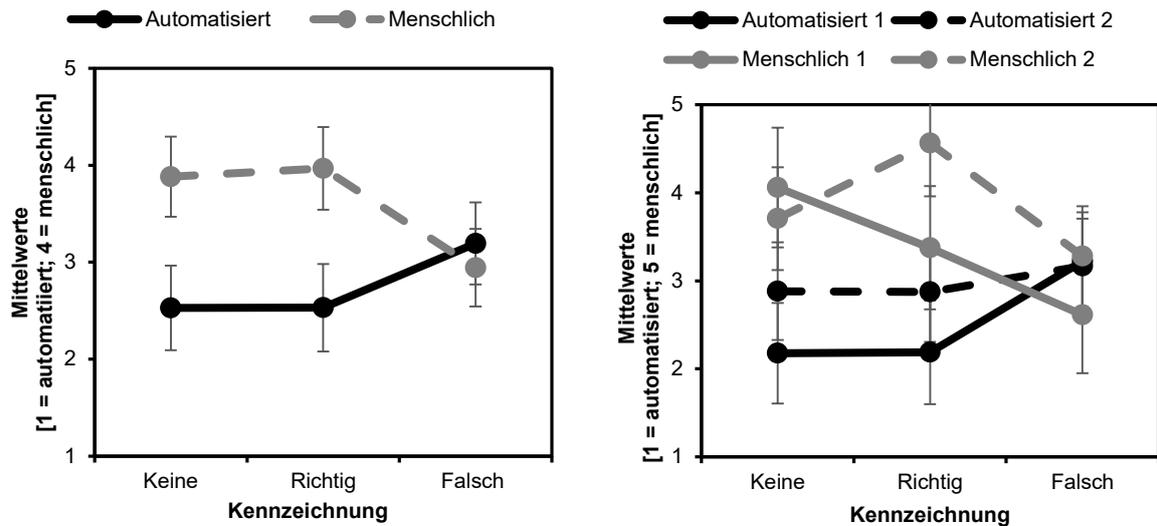


Abbildung 6: Links: Bewertung des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs als automatisiert (A, 1) oder menschlich (M, 5) in Abhängigkeit von der Art der Kennzeichnung, wenn der Proband vor dem Zielfahrzeug auf die Autobahn auffährt. Rechts: Getrennte Darstellung der je zwei Varianten des menschlichen und automatisierten Fahrverhaltens und die entsprechende Beurteilung als eher automatisiert (1) oder menschlich (5).

Abbildung 7 zeigt die Häufigkeiten der Bewertung des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs als automatisiert oder menschlich in der Versuchsguppe ohne Kennzeichnung. Hierbei wurden die Kategorien „automatisiert“ und „eher automatisiert“ zur Antwortkategorie „automatisiert“ zusammengefasst und die Kategorien „menschlich“ und „eher menschlich“ zu „menschlich“. Zielfahrzeuge der Variante Automatisiert 1 (2.0 s Sekundenabstand) wurden etwa von der Hälfte der Probanden korrekt der Automation zugeordnet, und wirkte im Vergleich zur Variante Automatisiert 2 (1.8 s Sekundenabstand) deutlich automatisierter. Der Unterschied von 0.2 s Sekundenabstand war für die Probanden also wahrnehmbar, wobei ein der größere Abstand automatisierter wirkte als der geringere. Die Variante Menschlich 1 (linker Fahrstreifen) wurde von 77 % der Probanden als menschliches Fahrverhalten identifiziert. Ebenso menschlich wirkte die Variante Menschlich 2 (beschleunigendes Fahrzeug), welche von 70 % der Probanden so eingeordnet wurde.

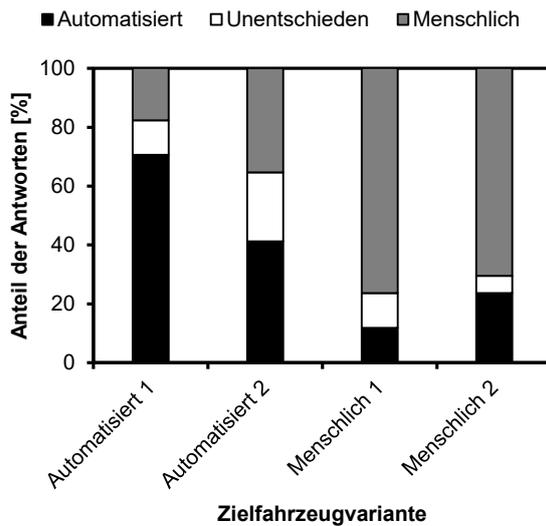


Abbildung 7: Bewertung des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs als automatisiert oder menschlich in Abhängigkeit von der Zielfahrzeugvariante (Automatisiert 1, Automatisiert 2, Menschlich 1, Menschlich 2) für die Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung, wenn der Proband vor dem Zielfahrzeug auf die Autobahn auffährt.

Die Probanden bewerteten das Fahrverhalten der vier Zielfahrzeugvarianten auf den abgefragten Dimensionen unterschiedlich, was sich in Hauptwirkungen zeigt (siehe Tabelle 5). Die Art der Kennzeichnung alleine hatte keinen Einfluss auf die Bewertung der Dimensionen. Lediglich auf zwei Dimensionen, Verhalten kooperativ und Fahrweise hatte die Art der Kennzeichnung eine Wechselwirkung mit den Zielfahrzeugvarianten. Da diese nur bei zwei Dimensionen auftraten und nicht sehr deutlich waren, wird auf eine Darstellung verzichtet.

Tabelle 5: Hauptwirkungen und Wechselwirkungen der einzelnen Zielfahrzeugvarianten und der Art der Kennzeichnung auf die einzelnen abgefragten Bewertungsdimensionen.

	F_{Variante}	df	p	$F_{\text{Kennzeichnung}}$	df	p	$F_{\text{Kennzeichnung} \times \text{Variante}}$	df	p
Verhalten risikoreich	47.5	3, 144	< .001	.1	2, 48	.880	1.4	6, 144	.215
Verhalten angenehm	44.6	3, 144	< .001	.1	2, 48	.868	1.7	6, 144	.116
Verhalten rücksichtslos	38.1	3, 144	< .001	.1	2, 48	.895	.7	2, 48	.895
Verhalten verärgert	23.6	2.8, 133.8	< .001	1.4	2, 48	.248	1.4	5.6, 133.8	.230
Verhalten vorhersehbar	6.5	3, 144	< .001	.2	2, 48	.827	1.7	6, 144	.619
Verhalten kooperativ	60.3	3, 144	< .001	.3	2, 48	.721	2.2	6, 144	.019
Fahrweise	32.8	2.6, 123.2	< .001	.6	2, 48	.549	2.6	5.1, 123.2	.026
Situation anstrengend	37.5	2.0, 97.9	< .001	.4	2, 48	.661	1.5	6, 144	.178
Angenehmer Abstand	53.6	2.8, 136.6	< .001	.03	2, 48	.975	1.7	5.7, 136.6	.152

Anmerkungen. Bei Verletzung der Sphärizitätsannahme sind je nach Größe von ϵ die nach Greenhouse-Geisser ($\epsilon < .75$) oder nach Huynh-Feldt ($\epsilon > .75$) korrigierten Werte der Freiheitsgrade abgetragen.

Die Verläufe der Profildiagramme in Abbildung 8 zeigen, dass sich die Bewertungen der beiden automatisierten Varianten auf den abgefragten Dimensionen zwischen den beiden menschlichen Varianten einordnen. Somit bilden die Bewertungen der menschlichen Varianten die Extrempunkte. Das Beschleunigen des Zielfahrzeugs im eigenen Fahrstreifen hinter dem Probanden wurde als risikoreiches, rücksichtsloses Verhalten bewertet, welches zu Verärgerung führte. Das Wechseln des Fahrstreifens wurde hingegen als sehr positives, rücksichtsvolles, angenehmes Verhalten bewertet. Der Bewertungsunterschied zwischen den beiden automatisierten Zielfahrzeugvarianten fiel gering aus, wobei Automatisiert 1 (2.0 s Sekundenabstand) geringfügig positiver bewertet wurde als die Variante Automatisiert 2 (1.8 s Sekundenabstand), da diese ein wenig mehr Sekundenabstand zum Probanden einhielt. Die Manipulation des Verhaltens der Zielfahrzeuge zeigte sich somit sehr deutlich in der Bewertung des Fahrverhaltens.

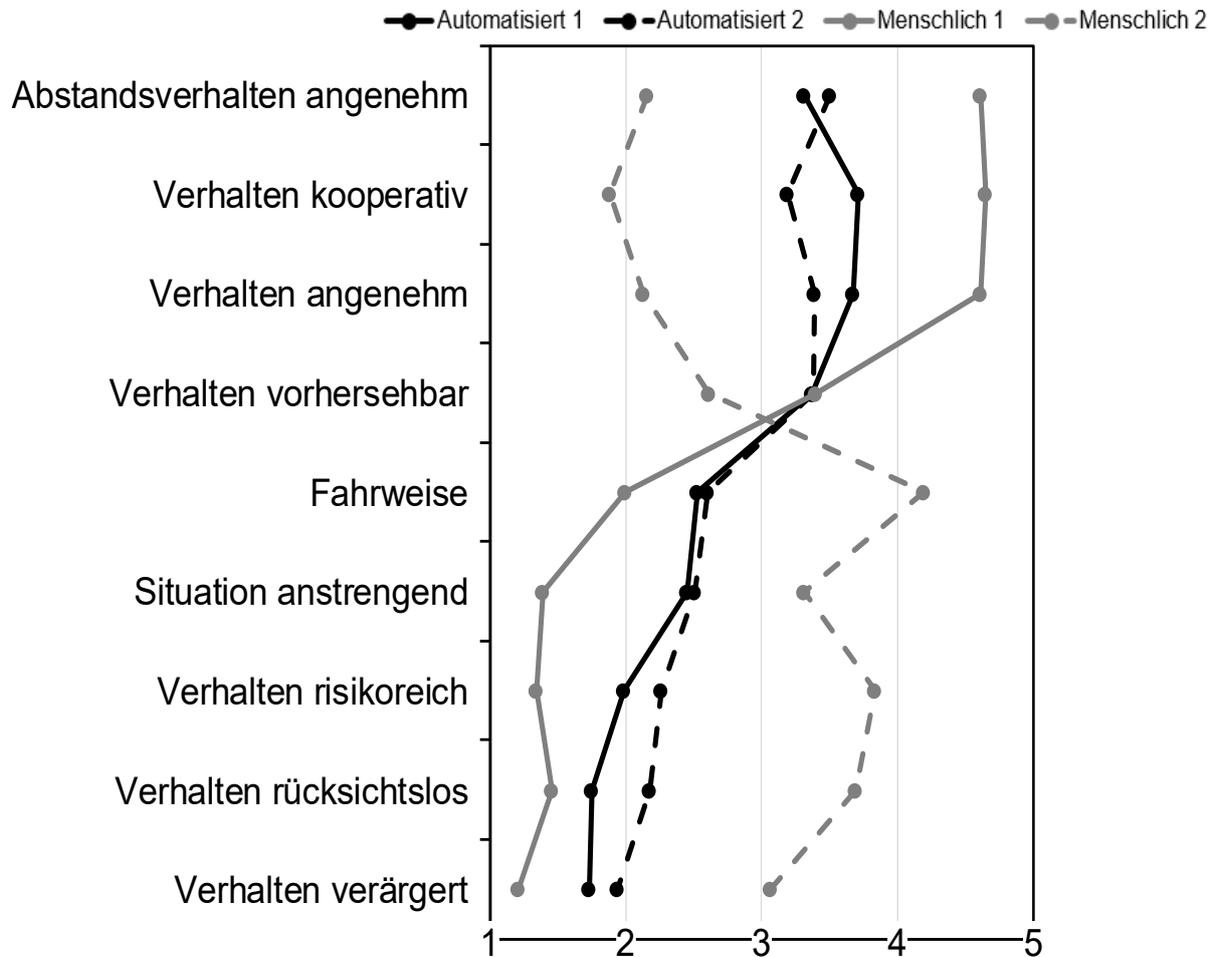


Abbildung 8: Profildiagramm über die Bewertung der einzelnen Zielfahrzeugvarianten (Automatisiert 1, Automatisiert 2, Menschlich 1, Menschlich 2) auf den abgefragten Dimensionen mit Skalen (1 = sehr wenig, sehr defensiv bis 5 = sehr viel, sehr dynamisch), welche durch vier Linien dargestellt sind.

In der Gesamtbewertung der Situation auf der Gesamtbewertungsskala (siehe Abbildung 9) zeigte sich eine Hauptwirkung der Zielfahrzeugvarianten, ($F(2.4,126.4) = 39.34$, $p < .001$, $\eta^2_{par} = .45$). Die Art der Kennzeichnung hatte keinen Einfluss auf die Gesamtbewertung, weder als Hauptwirkung ($F(2,48) = 1.09$, $p = .345$) noch als Wechselwirkung mit der Variante ($F(5.3,126.4) = 1.05$, $p = .395$).

Paarweise Vergleiche bestätigen den Gesamteindruck aus den Profildiagrammen. Die Variante Menschlich 1 wurde als signifikant angenehmste Variante vor allen anderen bewertet (alle $p < .001$) und liegt von der Bewertung her im Bereich „harmlos“ ($M = 1.18$). Die Streubreite dieser Bewertung ist über alle Probanden hinweg sehr gering, was auf eindeutige Gesamtbewertung hinweist. Die Variante Menschlich 2 hingegen war die gefährlichste Variante und liegt von der Bewertung her im Bereich zwischen „sehr unangenehm“ und „wenig gefährlich“ ($M = 4.42$). Die beiden automatisierten Varianten liegen dazwischen in einem Bereich zwischen „wenig unangenehm“ und

„mittel unangenehm“ ($M_{Automatisiert1} = 2.30$, $M_{Automatisiert2} = 2.34$), wobei sie sich in der Gesamtbewertung nicht signifikant voneinander unterscheiden ($p = 1.00$).

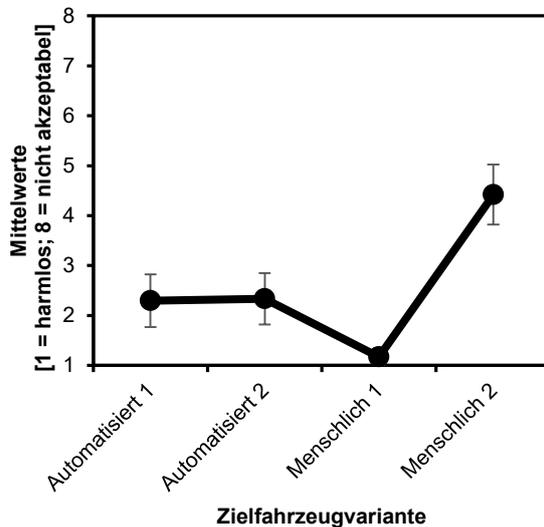


Abbildung 9: Bewertungen der Zielfahrzeugvarianten auf der Gesamtbewertungsskala der Situation, in der Probanden vor Zielfahrzeugen auf die Autobahn auffahren.

Beim Fahrverhalten wurden für diese Situation im Moment des Spurwechsels der Sekundenabstand zum Zielfahrzeug nach hinten und die eigene Geschwindigkeit untersucht (siehe Abbildung 10). Die Analyse bezieht auf $N = 47$ Probanden, da $n = 4$ Probanden ($n_{keine\ Kennzeichnung} = 2$, $n_{richtige\ Kennzeichnung} = 1$, $n_{falsche\ Kennzeichnung} = 1$) einen Fahrstreifenwechsel vor den Zielfahrzeugen für zu gefährlich hielten und nicht durchführten. Die Probanden waren in der Studie dazu instruiert worden, Fahrmanöver nur dann auszuführen, wenn sie sich sicher genug fühlten.

Wie in Abbildung 10 links dargestellt, zeigte sich in der einfaktoriellen Varianzanalyse eine Hauptwirkung der Zielfahrzeugvariante auf den Sekundenabstand zum Zielfahrzeug nach hinten, ($F(2.9, 128.4) = 13.77$, $p < .001$, $\eta^2_{par} = .24$). Die Art der Kennzeichnung zeigte weder eine Hauptwirkung ($F(2, 44) = 1.20$, $p = .310$), noch eine Wechselwirkung ($F(5.8, 128.4) = 1.30$, $p = .264$). Paarweise Vergleiche zeigen, dass nur der Sekundenabstand nach hinten zu Zielfahrzeugen der Variante Menschlich 2, die beschleunigt hatten, signifikant geringer war als zu den anderen Varianten (alle $p < .001$). Dieser Sekundenabstand von 1.1 s liegt noch im grenzwertig sicheren Bereich. Interessant ist, dass die Probanden beim Auffahren auf die Autobahn dichter als 1.8 s bzw. 2.0 s vor den automatisierten Zielfahrzeugen auffuhren, sodass diese bremsen mussten, um den festgelegten Sekundenabstand wiederherzustellen. Das Zielfahrzeug Menschlich 1 wechselte den Fahrstreifen, nachdem das Ego Fahrzeug

den Fahrstreifenwechsel vom Beschleunigungsstreifen auf den rechten Fahrstreifen der Autobahn begonnen hatte.

Insgesamt wechselten 19 (38 %) Probanden mit unter 1s Abstand zum beschleunigenden Folgefahrzeug (Menschlich 2) auf den rechten Fahrstreifen. Vor den beiden automatisierten Zielfahrzeugen scherten 9 (18 %) Probanden vor Variante Automatisiert 1 (2.0 s Sekundenabstand) und 13 (26 %) Probanden vor Variante Automatisiert 2 (1.8 s Sekundenabstand) in einem Abstand nach hinten von kleiner als einer Sekunde ein.

Für die Geschwindigkeit des Ego Fahrzeugs beim Auffahren auf die Autobahn (siehe Abbildung 10 rechts) ergaben sich weder signifikante Hauptwirkungen der Zielfahrzeugvarianten ($F(3,132) = 0.75, p = .522$), der Art der Kennzeichnung ($F(2,44) = 1.55, p = .224$), noch eine Wechselwirkungen zwischen diesen beiden ($F(6,132) = 0.98, p = .441$). Die Geschwindigkeit beim Auffahren lag durchschnittlich bei circa 113 km/h.

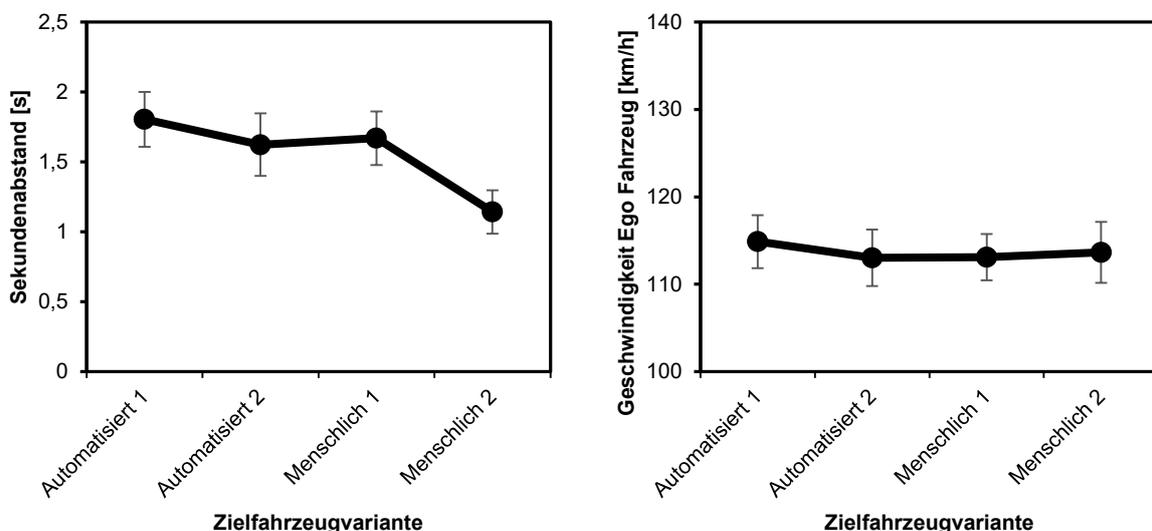


Abbildung 10: Links: Sekundenabstand zum Zielfahrzeug nach hinten in Abhängigkeit von der Zielfahrzeugvariante, vor dem der Proband auf die Autobahn auffährt. Rechts: Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs in Abhängigkeit von der Zielfahrzeugvariante, vor dem der Proband auf die Autobahn auffährt.

Insgesamt ist damit für die Situation des Auffahrens auf die Autobahn vor einem automatisierten Fahrzeug festzuhalten:

- Automatisierte Fahrzeuge halten einen relativ großen Sekundenabstand zu menschlichen Fahrzeugen, die gerade auf die Autobahn gefahren sind, was von den Probanden auch als automatisiertes Verhalten erkannt wird.

- Dieses Verhalten wird als eher angenehm und akzeptabel bewertet.
- Das Verhalten, auf den linken Fahrstreifen zu wechseln und damit den rechten Fahrstreifen freizugeben, erscheint eher menschlich und wird von den Probanden als noch positiver und akzeptabler bewertet.
- Das Verhalten, zu beschleunigen, um die Probanden hinter sich einfädeln zu lassen, wird als wenig angenehm und wenig akzeptabel bewertet.
- Ein automatisiertes Fahrzeug sollte in dieser Fahrsituation nicht beschleunigen, um nicht als unangenehm wahrgenommen zu werden. Vielmehr sollte es neben dem eigenen Fahrstreifen auch die Bewegungen anderer Fahrzeuge auf den anderen Fahrstreifen beobachten, um auf das Einscheren vorausfahrender Fahrzeuge reagieren zu können.
- Die Kennzeichnung als automatisierte Fahrzeuge erleichtert die korrekte Zuordnung des Verhaltens zum Fahrzeugtyp (manuell vs. automatisiert) nicht. Sie wirkt aber insofern, dass eine falsche Kennzeichnung die korrekte Zuordnung erschwert. Damit scheinen tatsächlich bereits bestimmte Erwartungen an das Verhalten automatisierter Fahrzeuge vorhanden zu sein.
- Die Kennzeichnung ändert allerdings die Bewertung des Verhaltens nicht. Diese hängt vielmehr wesentlich vom Verhalten selbst ab.

5.4.2 Zum Überholen in den Fahrstreifen des Zielfahrzeugs wechseln

Bei der Frage, ob das Fahrverhalten des Zielfahrzeugs eher einem menschlichen oder automatisierten Fahrverhalten entspricht, zeigte sich in der zweifaktoriellen Varianzanalyse keine Hauptwirkung der Kennzeichnung ($F(2,48) = 0.48, p = .954$), aber eine Hauptwirkung der Automation ($F(1,48) = 39.38, p < .001, \eta^2_{par} = .45$) und eine Wechselwirkung ($F(2,48) = 8.02, p = .001, \eta^2_{par} = .25$). Wie in Abbildung 11 links dargestellt ist, werden bei keiner und richtiger Kennzeichnung die Verhaltensweisen deutlich unterschiedlich und eher zutreffend eingeordnet. Bei falscher Kennzeichnung zeigt sich deutlich der Konflikt zwischen der Kennzeichnung und dem tatsächlichen Verhalten. Die als menschlich gekennzeichneten Fahrweisen sind eher automationsähnlich und umgekehrt, sodass sich die Bewertungen um den Skalenpunkt 3 (= unentschieden) zentrieren.

Damit wirkt die Kennzeichnung sehr deutlich und menschliche Verhaltensweisen, die als automatisiert gekennzeichnet sind, wirken für die Probanden weniger menschlich. Umgekehrt wirken automatisierte Verhaltensweisen in der Gruppe mit falscher Kennzeichnung eher menschlich. Darüber hinaus erleichtert eine zutreffende Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge nicht die Zuordnung des Fahrverhaltens zum Fahrmodus, sodass sich hier kein Vorteil durch die Kennzeichnung des automatisierten Fahrmodus gegenüber der Gruppe ohne Kennzeichnung ergibt.

Die beiden automatisierten Zielfahrzeugvarianten unterschieden sich in dieser Situation in dem Sekundenabstand, mit dem diese auf dem linken Fahrstreifen hinter dem Probanden fahren (mindestens 2.0 s bzw. 1.8 s Sekundenabstand). Die manuellen Fahrzeuge zeigten zwei unterschiedliche Verhaltensweisen. Das eine manuelle Zielfahrzeug (Menschlich 1) hielt einen minimalen Sekundenabstand von mindestens 1.0 s auf das Ego-Fahrzeug ein, und ermöglichte dem Probanden so noch einen sicheren Fahrstreifenwechsel. Das andere manuelle Fahrzeug (Menschlich 2) hingegen beschleunigte auf dem linken Fahrstreifen, um die Lücke zuzufahren. Die Bewertung dieser vier Varianten ist in Abbildung 11 rechts dargestellt.

Die beiden automatisierten Varianten wurden auf der 5-stufigen Likert Skala nahezu identisch bewertet. Die sehr ähnliche Bewertung deutet darauf hin, dass der Unterschied von 0.2 s Sekundenabstand war für die Probanden möglicherweise nicht wahrnehmbar war, oder sich nicht merklich auf die Zuordnung zum Fahrzeugtyp auswirkte, weil auch dieser Abstand noch als automatisiertes Fahrverhalten durchgeht. Das Beschleunigen auf dem linken Fahrstreifen erscheint stärker menschlich, wobei das Verhalten mit richtiger Kennzeichnung noch menschlicher wirkt als mit falscher bzw. ohne Kennzeichnung. Die Variante Menschlich 1 mit dem minimalen Sekundenabstand von 1.2 s wirkt unterschiedlich in Abhängigkeit von der Kennzeichnung. Dieses Verhalten wirkt ohne Kennzeichnung eher menschlich, bei der gekennzeichneten Variante weniger menschlich. Interessant ist, dass die menschliche Variante mit einem Sekundenabstand von 1.0 s häufiger korrekt einem menschlichen Fahrer zugeordnet wird als das beschleunigende Fahrzeug. Menschliches Fahrverhalten ist entsprechend nicht mit rücksichtslosem Fahrverhalten gleichzusetzen.

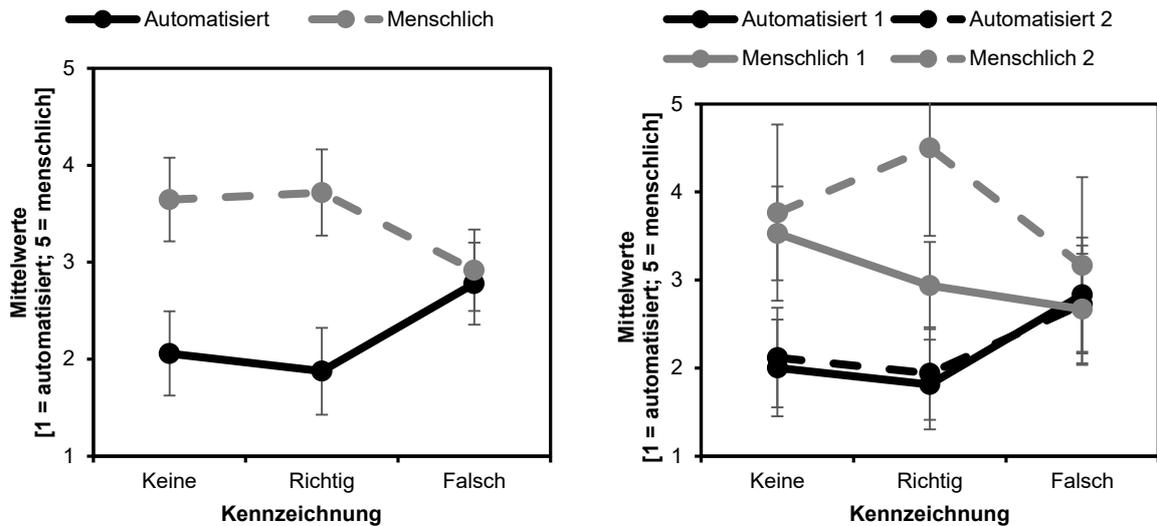


Abbildung 11: Links: Bewertung des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs als automatisiert (A, 1) oder menschlich (M, 5) in Abhängigkeit von der Art der Kennzeichnung, wenn der Proband zum Überholen vor einem Zielfahrzeug einschert. Rechts: Getrennte Darstellung der je zwei Varianten des menschlichen und automatisierten Fahrverhaltens und die entsprechende Beurteilung als eher automatisiert (1) oder menschlich (5).

Abbildung 12 zeigt die Häufigkeiten der Bewertung des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs als automatisiert oder menschlich in der Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung. Die beiden automatisierten Varianten der Zielfahrzeuge wurden von einer großen Mehrheit (76 % bzw. 80 %) der Probanden korrekt der Automation zugeordnet. Die Variante Menschlich 1 (1.0 s Sekundenabstand) wurde von 65 % der Probanden als menschliches Fahrverhalten korrekt zugeordnet. Ebenso eher menschlich wirkte die Variante Menschlich 2 (beschleunigendes Fahrzeug), welche von 53 % der Probanden so eingeordnet wurde. Interessant ist, dass die menschliche Variante mit einem Sekundenabstand von 1.0 s häufiger korrekt einem menschlichen Fahrer zugeordnet wird als das beschleunigende Fahrzeug. Möglicherweise ist menschliches Fahrverhalten nicht mit rücksichtslosem Fahrverhalten gleichzusetzen.

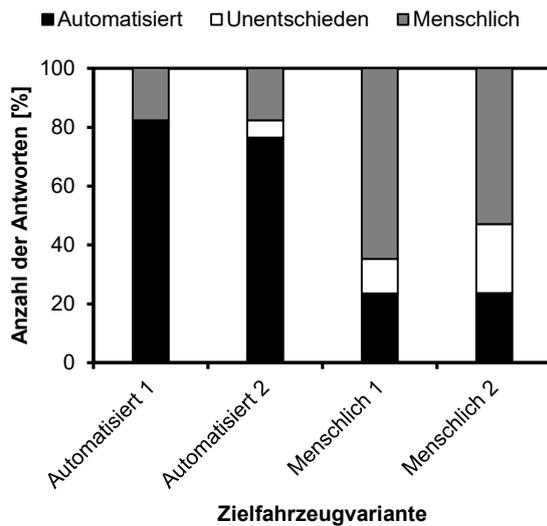


Abbildung 12: Bewertung des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs als automatisiert oder menschlich in Abhängigkeit von der Zielfahrzeugvariante, wenn der Proband vor dem Zielfahrzeug auf dem linken Fahrstreifen einscherte.

Die Probanden bewerteten das Fahrverhalten der vier Zielfahrzeugvarianten auf den abgefragten Dimensionen unterschiedlich, was sich in Hauptwirkungen zeigt (siehe Tabelle 6). Die Art der Kennzeichnung alleine hatte keinen Einfluss auf die Bewertung. Ebenso zeigten sich in der Varianzanalyse keine Wechselwirkungen zwischen der Art der Kennzeichnung und den Zielfahrzeugvarianten.

Tabelle 6: Hauptwirkungen und Wechselwirkungen der einzelnen Zielfahrzeugvarianten und der Art der Kennzeichnung auf die einzelnen abgefragten Bewertungsdimensionen.

	F_{Variante}	df	p	$F_{\text{Kennzeichnung}}$	df	p	$F_{\text{Kennzeichnung} \times \text{Variante}}$	df	p
Verhalten risikoreich	41.5	2,8,122.7	< .001	.4	2,48	.699	1.3	5,6,135.6	.246
Verhalten angenehm	41.7	3,144	< .001	.1	2,48	.930	1.4	6,144	.211
Verhalten rücksichtslos	44.2	3,144	< .001	.1	2,48	.948	.9	6,144	.516
Verhalten verärgert	38.1	2,9,139.1	< .001	.1	2,48	.876	1.1	5,8,139.1	.345
Verhalten vorhersehbar	11.5	3,144	< .001	.6	2,48	.521	.7	6,144	.670
Verhalten kooperativ	48.8	3,144	< .001	.2	2,48	.850	1.2	6,144	.321
Fahrweise	41.6	2,5,121.6	< .001	.5	2,48	.631	.7	5,1,121.6	.678
Situation anstrengend	25.9	3,144	< .001	.1	2,48	.973	1.0	6,144	.415
Angenehmer Abstand	44.8	2,9,140.9	< .001	.8	2,48	.467	1.2	5,9,140.9	.297

Anmerkungen. Bei Verletzung der Sphärizitätsannahme sind je nach Größe von ϵ die nach Greenhouse-Geisser ($\epsilon < .75$) oder nach Huynh-Feldt ($\epsilon > .75$) korrigierten Werte der Freiheitsgrade abgetragen.

Die Verläufe der Profildiagramme in Abbildung 13 zeigen, dass sich die Bewertung des beschleunigenden Zielfahrzeugs (Menschlich 2) wesentlich von den anderen Zielfahrzeugen, welche einen Mindestsekundenabstand zum Ego-Fahrzeug einhielten, unterschieden.

Das Beschleunigen des nachfolgenden Zielfahrzeugs wurde als risikoreiches, rücksichtsloses Verhalten bewertet, welches zu Verärgerung bei den Probanden führte und als Verhalten in dieser Situation wenig vorhersehbar und wenig akzeptabel war. Im Kontrast dazu wurde das Einhalten eines minimalen Sekundenabstands (Automatisiert 1, Automatisiert 2, Menschlich 1) als rücksichtsvoll, kooperativ und insgesamt akzeptables Fahrverhalten wahrgenommen. Die Unterschiede hinsichtlich der Größe des eingehaltenen minimalen Sekundenabstands zeigte sich verhältnismäßig auch in der Bewertung auf den abgefragten Dimensionen, wie im Profildiagramm sichtbar wird. Je größer der Abstand, desto positiver fiel die Bewertung des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs aus. Dementsprechend wurde die Variante Automatisiert 1 (2.0 s Sekundenabstand) am positivsten bewertet, gefolgt von Automatisiert 2 (1.8 s Sekundenabstand) und Menschlich 1 (1.0 s Sekundenabstand). Da der Unterschied von 0.2 s Sekundenabstand gering ist, fallen die Bewertungen der

beiden automatisierten Verhaltensweisen nahezu identisch aus. Der größere zeitliche Sprung zum Verhalten des Zielfahrzeugs Menschlich 1 ist hingegen deutlicher sichtbar. Die Variation des Verhaltens der Zielfahrzeuge zeigte sich somit sehr deutlich in der Bewertung des Fahrverhaltens.

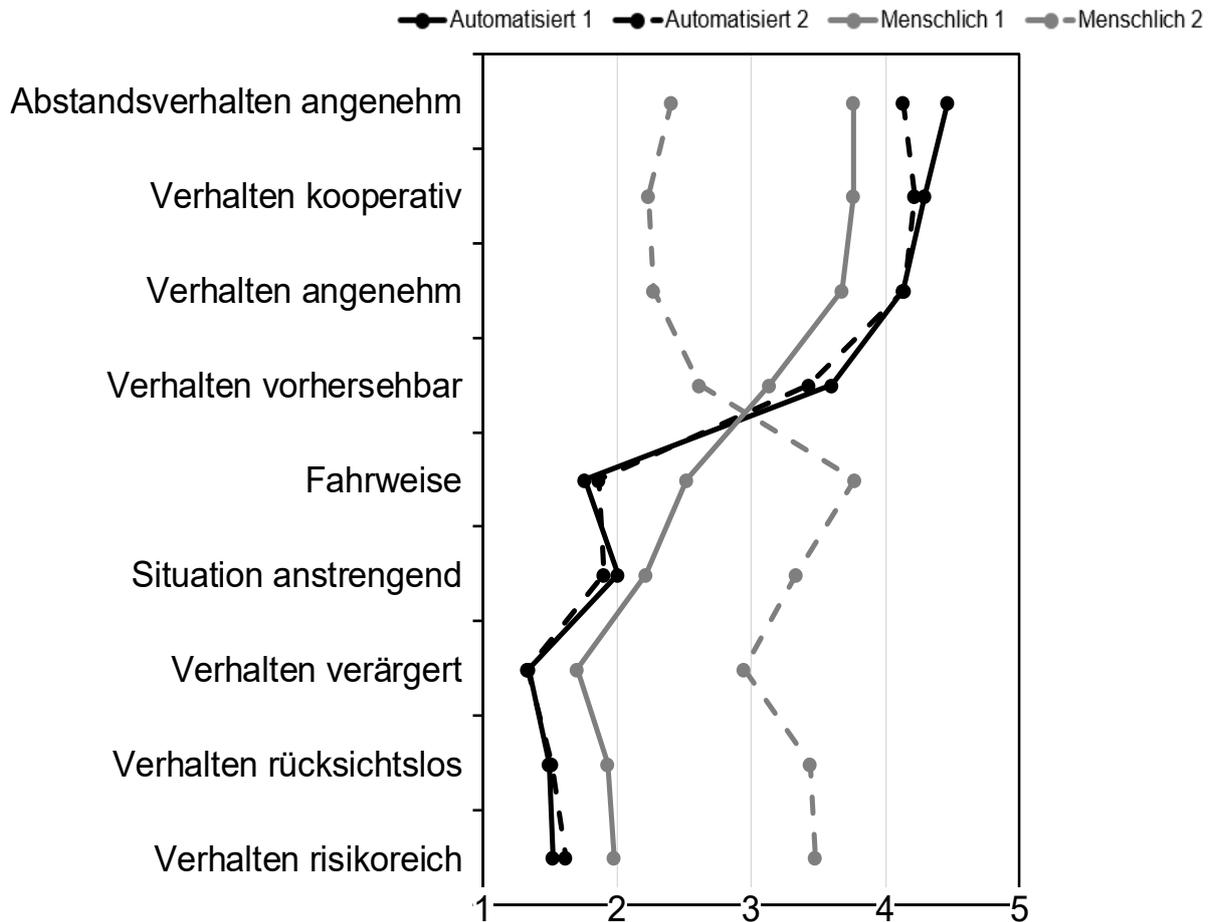


Abbildung 13: Profildiagramm über die Bewertung der einzelnen Zielfahrzeugvarianten (Automatisiert 1, Automatisiert 2, Menschlich 1, Menschlich 2) auf den abgefragten Dimensionen mit Skalen (1 = sehr wenig, sehr defensiv bis 5 = sehr viel, sehr dynamisch), welche durch vier Linien dargestellt sind.

In der Gesamtbewertung der Situation auf der Gesamtbewertungsskala (siehe Abbildung 14) zeigte sich eine Hauptwirkung des Zielfahrzeugverhaltens ($F(2.5,121.1) = 41.85, p < .001, \eta^2_{par} = .47$). Die Art der Kennzeichnung hatte jedoch keinen Einfluss auf die Gesamtbewertung, weder als Hauptwirkung ($F(2,48) = 0.52, p = .596$) noch als Wechselwirkung mit dem Fahrverhalten der Zielfahrzeuge ($F(5.1,121.1) = 1.48, p = .200$).

Paarweise Vergleiche bestätigen den Gesamteindruck aus den Profildiagrammen. Das beschleunigende Fahrzeug, welches dem Probanden nahelegt, den

Fahrstreifenwechsel abzubrechen, wird als signifikant gefährlicher eingestuft als die anderen Zielfahrzeugvarianten (alle $p < .001$). Das rücksichtlose Zufahren der Lücke wurde von den Probanden im Mittel als „sehr unangenehm“ bis „wenig gefährlich“ bewertet. Zwischen den anderen drei Varianten, welche mit einem festgelegten Mindestabstand hinter dem Probanden fahren, konnten keine Unterschiede hinsichtlich der Gesamtbewertung der Fahrsituation festgestellt werden (alle $p > .05$). Die Größe des Sekundenabstands war also nicht bedeutsam. Dennoch zeigen sich auch hier dieselben Tendenzen wie zuvor in den Profildiagrammverläufen. Der größte Abstand der Variante Automatisiert 1 wird am angenehmsten bewertet und liegt im Mittel zwischen den Skalenpunkten „harmlos“ und „wenig unangenehm“ ($M = 1.53$), gefolgt von Automatisiert 2 im Bereich zwischen „harmlos“ und „wenig unangenehm“ ($M = 1.69$), und Menschlich 1 im Bereich „wenig unangenehm“ ($M = 2.08$).

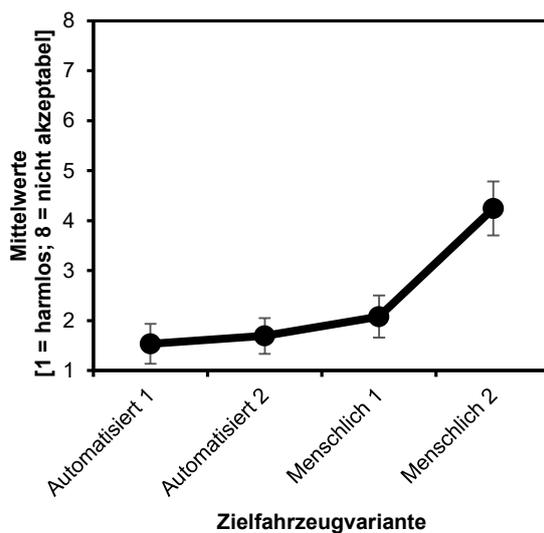


Abbildung 14: Bewertungen der Zielfahrzeugvarianten auf der Gesamtbewertungsskala der Situation, in der ein Proband vor einem Zielfahrzeug auf den linken Fahrstreifen wechselt.

Für diese Situation wurden beim Wechsel auf den linken Fahrstreifen der Sekundenabstand zum Zielfahrzeug nach hinten und die Ego-Geschwindigkeit als objektive Messwerte analysiert (siehe Abbildung 15).

Wie in Abbildung 15 links dargestellt, ergab die zweifaktorielle Varianzanalyse eine Hauptwirkung des Zielfahrzeugverhaltens auf den Sekundenabstand zum Zielfahrzeug nach hinten ($F(1.7,82.1) = 7.44$, $p = .002$, $\eta^2_{par} = .13$). Die Art der Kennzeichnung hatte weder eine Hauptwirkung ($F(2,48) = 0.30$, $p = .741$), noch eine Wechselwirkung ($F(3.4,82.1) = 1.23$, $p = .305$). Die Variation der Zielfahrzeugverhaltensweisen hatte einen Effekt auf den Sekundenabstand zum

nachfolgenden Zielfahrzeug. Hierbei war der Sekundenabstand zum beschleunigenden Zielfahrzeug (Menschlich 2) signifikant geringer als zu den anderen Zielfahrzeugen ($p_{\text{Menschlich2 vs. Menschlich1}} = .018$, $p_{\text{Menschlich2 vs. Automatisiert1}} = .027$, $p_{\text{Menschlich2 vs. Automatisiert2}} = .021$). Mit rund 1.0 s zum nachfolgenden Zielfahrzeug lag dieser im grenzwertig sicheren Bereich. Die Sekundenabstände zu den anderen Zielfahrzeugvarianten, welche mit einem festgelegten Mindestabstand hinter dem Probanden blieben, lagen durchweg im sicheren Bereich.

Insgesamt wechselten 38 (75 %) Probanden mit unter 1s Abstand zum beschleunigenden Folgefahzeug der Variante Menschlich 2 auf den linken Fahrstreifen. Vor den beiden automatisierten Zielfahrzeugen (2.0 s bzw. 1.8 s Sekundenabstand) scherten jeweils 4 (8 %) Probanden in einem Abstand nach hinten von kleiner als einer Sekunde ein. Vor der Variante Menschlich 1 (1.0 s Sekundenabstand) waren es 3 (6 %) Probanden. Somit waren Interaktionen der Probanden mit dem beschleunigenden Zielfahrzeug deutlich öfter sicherheitskritisch als Interaktionen mit den anderen drei Zielfahrzeugvarianten.

Für die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs beim Fahrstreifenwechsel (siehe Abbildung 15 rechts) zeigten sich keine signifikante Hauptwirkung des Zielfahrzeugverhaltens ($F(3.0, 142.3) = 2.30$, $p = .080$). Jedoch zeigte sich bei der Art der Kennzeichnung ($F(2, 48) = 4.41$, $p = .017$, $\eta^2_{par} = .16$) eine Hauptwirkung auf die Ego-Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeit beim Spurwechsel ist bei der richtigen Kennzeichnung am höchsten. Es existierte jedoch keine Wechselwirkungen zwischen diesen beiden Faktoren ($F(5.9, 142.3) = 0.58$, $p = .746$).

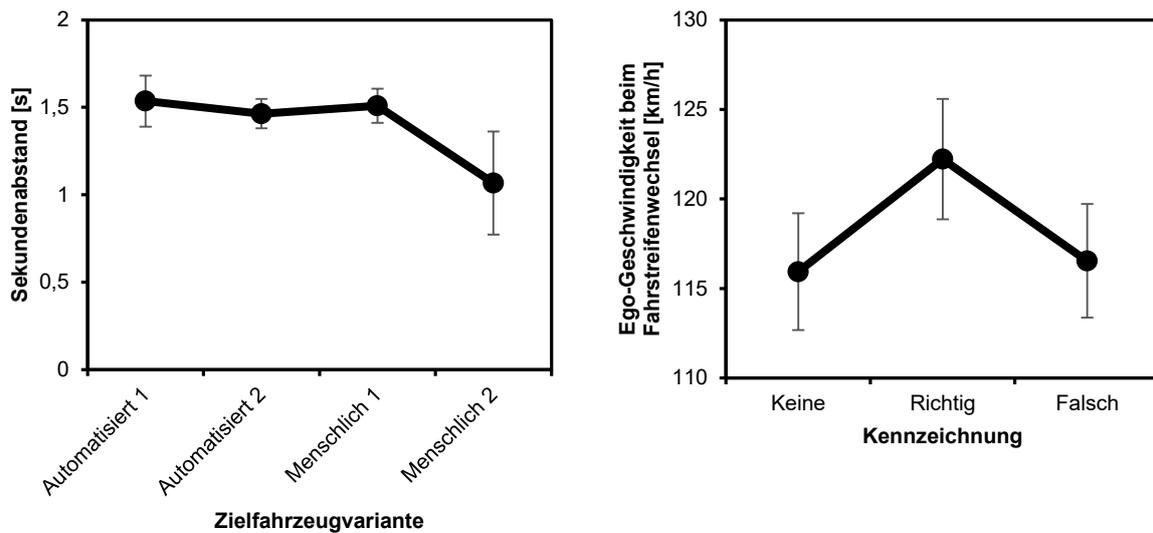


Abbildung 15: Links: Sekundenabstand zum Zielfahrzeug nach hinten in Abhängigkeit von der Variante des Zielfahrzeugs, wenn der Proband vor dem Zielfahrzeug auf dem linken Fahrstreifen einschert. Rechts: Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs in Abhängigkeit von der Variante des Zielfahrzeugs, wenn der Proband vor dem Zielfahrzeug auf dem linken Fahrstreifen einschert.

Insgesamt ist damit für die Situation „zum Überholen vor einem Zielfahrzeug einscheren“ für automatisierte Fahrzeuge festzuhalten:

- Automatisierte Fahrzeuge halten einen großen Sekundenabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ein, nachdem ein Fahrzeug vor ihnen den Fahrstreifen gewechselt hat.
- Der große Sekundenabstand wird als angenehm, rücksichtsvoll und insgesamt akzeptabel bewertet. Je größer der Abstand, desto angenehmer wird die Situation wahrgenommen, wobei geringe Unterschiede im Abstandsverhalten die Bewertung kaum beeinflussen. Entweder sind diese geringen Unterschiede nicht oder kaum wahrnehmbar, oder der Abstand ist bereits hinreichend groß, sodass sich dieser kaum noch auf die Bewertung auswirkt.
- Das Beschleunigen eines nachfolgenden Fahrzeugs, um das vorausfahrende Fahrzeug am Einscheren zu hindern, wird eher menschlichem Fahrverhalten zugeordnet und als rücksichtsloses, unvorhersehbares Verhalten insgesamt als inakzeptabel bewertet.
- Weiterhin führt dieses rücksichtslose Verhalten zu geringen Sekundenabständen zum vorausfahrenden Fahrzeug, welche im sicherheitskritischen Bereich liegen können.
- Die Kennzeichnung des aktuellen Fahrmodus eines Fahrzeugs erleichtert die korrekte Zuordnung des Verhaltens zum Fahrzeugtyp (manuell vs.

automatisiert) in dieser Situation nicht wesentlich gegenüber keiner Kennzeichnung. Eine falsche Kennzeichnung führt zu Verwirrung bei Fahrern, da automatisiertes Fahrverhalten eher menschlich wirkt und umgekehrt menschliches Fahrverhalten automationsähnlicher wirkt.

5.4.3 Zielfahrzeug zum Überholen einscheren lassen (S03)

Bei der Frage, ob das Fahrverhalten des Zielfahrzeugs eher einem menschlichen oder automatisierten Fahrverhalten entspricht, zeigte sich in der zweifaktoriellen Varianzanalyse keine Hauptwirkung der Kennzeichnung ($F(2,48) = 0.47$, $p = .627$), aber eine Hauptwirkung der Automation ($F(1,48) = 9.50$, $p = .003$, $\eta^2_{par} = .17$) und eine Wechselwirkung ($F(2,48) = 3.62$, $p = .034$, $\eta^2_{par} = .13$). Wie Abbildung 16 links zeigt, wurden automatisierten Zielfahrzeuge nicht eindeutig als solche erkannt. Die Bewertung liegt unabhängig von der Art der Kennzeichnung der automatisierten Zielfahrzeuge zwischen den Skalenpunkten „unentschieden“ und „eher menschlich“. Die menschlichen Verhaltensweisen werden in den beiden Versuchsgruppen mit richtiger bzw. ohne Kennzeichnung korrekt als „eher menschlich“ bewertet. Bei falscher Kennzeichnung zeigt sich der zuvor beschriebene Konflikt zwischen der Kennzeichnung und dem tatsächlichen Verhalten. Es zeigt sich hier die Wirkung der Kennzeichnung, wodurch menschliche Verhaltensweisen, die als automatisiert gekennzeichnet sind, weniger menschlich für die Probanden wirken, wohingegen die Bewertung der automatisierten Fahrzeuge unabhängig von der Art der Kennzeichnung konstant bleiben.

Die einzelnen Varianten der Zielfahrzeuge unterschieden sich in dieser Situation in dem Zeitpunkt, an dem das Zielfahrzeug vor dem Probanden zum Überholen eines langsamen vorausfahrenden Fahrzeugs in den Fahrstreifen des Probanden wechselte (2.2 s und 2.0 s Sekundenabstand automatisiert vs. 1.2 s und 1.0 s Sekundenabstand menschlich). Diese zeigt sich auch recht deutlich in den entsprechenden Beurteilungen der vier Varianten (siehe Abbildung 16 rechts). Das Verhalten scheint eher automatisiert, wenn das Fahrzeug schon sehr früh (2.2 s Sekundenabstand) den Fahrstreifen wechselt. Die automatisierte Variante mit dem späteren Fahrstreifenwechsel (2.0 s Sekundenabstand) wirkte hingegen deutlicher menschlich. Somit war der Unterschied von 0.2 s Sekundenabstand wahrnehmbar und führte zu unterschiedlichen Bewertungen in den Gruppen ohne bzw. mit falscher

Kennzeichnung. Hier wirkte der spätere Wechsel (2.0 s Sekundenabstand) sogar „eher menschlich“. Bei den beiden automatisierten Verhaltensweisen hat die Kennzeichnung keine Auswirkung auf die Bewertung der Variante Automatisiert 1. Die Bewertung der Variante Automatisiert 2 ist in den Gruppen mit falscher bzw. ohne Kennzeichnung nahezu identisch, wobei eine richtige Kennzeichnung des Fahrmodus dieses Verhalten automationsähnlicher wirken lässt. Das menschliche Fahren mit 1.0 s Sekundenabstand, welches die rücksichtslosere Variante war, erscheint mit richtiger bzw. mit falscher Kennzeichnung entsprechend stärker menschlich als bei 1.2 s. In der Gruppe ohne Kennzeichnung unterscheiden sich die beiden menschlichen Varianten nicht in der Bewertung.

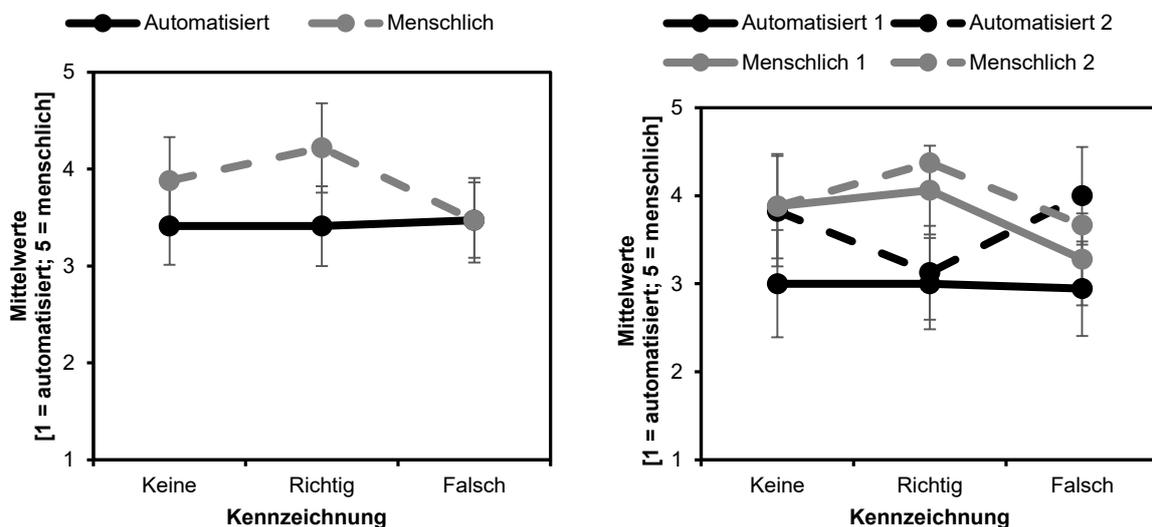


Abbildung 16: Links: Bewertung des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs als automatisiert (A, 1) oder menschlich (M, 5) in Abhängigkeit von der Art der Kennzeichnung, wenn das Zielfahrzeug zum Überholen vor dem Ego-Fahrzeug einschert. Rechts: Getrennte Darstellung der je zwei Varianten des menschlichen und automatisierten Fahrverhaltens und die entsprechende Beurteilung als eher automatisiert (1) oder menschlich (5).

Abbildung 17 zeigt die prozentuale Zuordnung des Fahrverhaltens der Zielfahrzeuge zum Fahrmodus in der Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung. Hier zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen beiden automatisierten Zielfahrzeugvarianten. Während sich die Probanden bei der Variante Automatisiert 1 (2.2 s Sekundenabstand) unsicher sind, und dieses Fahrverhalten sowohl einem automatisierten Fahrzeug als auch einem menschlichen Fahrer zutrauen würden (47 % automatisiert vs. 41 % menschlich), ist die Bewertung der Variante Automatisiert 2 (2.0 s Sekundenabstand) sehr eindeutig. 76 % der Probanden halten dieses Fahrverhalten für menschlich, obwohl der Unterschied zur Variante Automatisiert 1

lediglich 0.2 s Sekundenabstand beträgt. Möglicherweise trifft diese Variation des Fahrverhaltens hier genau den Grenzbereich der Zuordnung zwischen automatisiertem und menschlichem Fahrverhalten. Ebenso ist es möglich, dass Probanden in dieser Fahrsituation die Erwartung haben, dass automatisierte Fahrzeuge beim Wechsel auf den linken Fahrstreifen einen deutlich größeren Abstand zu nachfolgenden Fahrzeugen einhalten als menschliche Fahrer. Möglich ist aber auch, dass erwartet wird, dass automatisierte Fahrzeuge erst gar keinen Fahrstreifenwechsel in dieser Situation durchführen.

Auffällig ist, dass nur rund 58 % die Variante Menschlich 2 (1.0 s Sekundenabstand) als menschliches Fahrverhalten identifizierten. Es ist möglich, dass Probanden das enge Einscheren als systembedingte Eigenschaft der Automation wahrgenommen haben, da nicht klar ist, inwieweit ein automatisiertes Fahrzeug in der Lage ist, den rückwärtigen Verkehr zu beobachten.

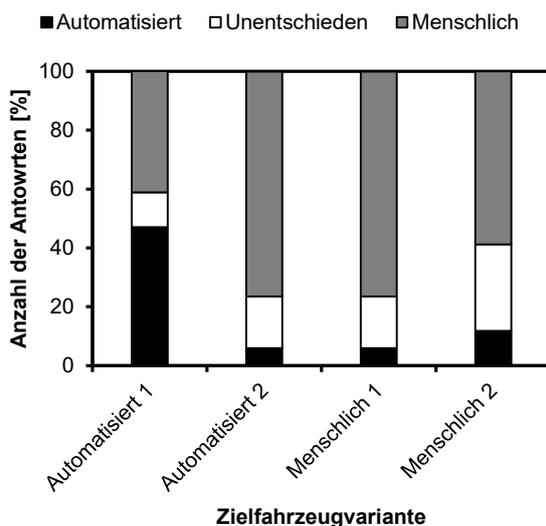


Abbildung 17: Bewertung des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs als automatisiert oder menschlich in Abhängigkeit von der Zielfahrzeugvariante, wenn das Zielfahrzeug zum Überholen vor dem Ego-Fahrzeug einschert.

Die Probanden bewerteten das Fahrverhalten der vier Zielfahrzeugvarianten auf den abgefragten Dimensionen unterschiedlich, was sich größtenteils in Hauptwirkungen der Automation zeigt (siehe Abbildung 7). Die Art der Kennzeichnung alleine hatte lediglich auf die Bewertung der Fahrweise einen signifikanten Einfluss und wird hier nicht weiter dargestellt. Auf vier Dimensionen hatte die Art der Kennzeichnung eine Wechselwirkung mit den Zielfahrzeugvarianten. Da diese Wechselwirkungen nicht sehr deutlich waren, wird auf eine Darstellung verzichtet.

Tabelle 7: Hauptwirkungen und Wechselwirkungen der einzelnen Zielfahrzeugvarianten und der Art der Kennzeichnung auf die einzelnen abgefragten Bewertungsdimensionen.

	F_{Variante}	df	p	$F_{\text{Kennzeichnung}}$	df	p	$F_{\text{Kennzeichnung} \times \text{Variante}}$	df	p
Verhalten risikoreich	11.6	3, 144	< .001	1.9	2,48	.168	1.4	6,144	.218
Verhalten angenehm	15.1	2,8,132.2	< .001	1.6	2,48	.217	1.4	5,1,132.2	.233
Verhalten rücksichtslos	12.1	3, 144	< .001	1.5	2,48	.233	2.1	6,144	.061
Verhalten verärgert	11.2	3, 144	< .001	1.0	2,48	.360	2.3	6,144	.037
Verhalten vorhersehbar	6.6	3, 144	< .001	.6	2,48	.532	.5	6,144	.807
Verhalten kooperativ	11.9	2,6, 136.7	< .001	1.2	2,48	.319	1.3	5,7,136.7	.280
Fahrweise	1.1	3, 144	.372	4.6	2,48	.015	.4	6,144	.901
Situation anstrengend	11.5	3,144	< .001	3.0	2,48	.058	1.0	6,144	.453
Angenehmer Abstand	22.7	3,144	< .001	2.0	2,48	.145	1.1	6,144	.338

Anmerkungen. Bei Verletzung der Sphärizitätsannahme sind je nach Größe von ϵ die nach Greenhouse-Geisser ($\epsilon < .75$) oder nach Huynh-Feldt ($\epsilon > .75$) korrigierten Werte der Freiheitsgrade abgetragen.

Die Verläufe der Profildiagramme in Abbildung 18 zeigen, dass sich die Bewertungen hinsichtlich der abgefragten Verhaltensaspekte an der graduellen Abstufung der Abstände der Zielfahrzeuge zum Ego-Fahrzeug orientieren. Die Extrempunkte bilden die Variante Automatisiert 1, welches am frühesten den Fahrstreifen wechselte, und somit den größten Abstand zum Ego-Fahrzeug einhielt und die Variante Menschlich 2, welche zum spätesten Zeitpunkt den Fahrstreifen wechselte, und somit den geringsten Abstand hatte. Die Varianten Automatisiert 2 und Menschlich 1, welche zeitlich zwischen Automatisiert 1 und Menschlich 2 den Fahrstreifen wechselten, wurden sehr ähnlich bewertet und liegen zwischen den Extrempunkten. Ein großer Abstand zum Ego-Fahrzeug wurde von den Probanden als angenehm, rücksichtsvoll und vorsehbar bewertet. Entsprechend schneidet die Variante Automatisiert 1 in der Bewertung am besten ab. Demgegenüber wird ein geringer Abstand des Zielfahrzeugs zum Ego-Fahrzeug wie in der Variante Menschlich 2 als risikoreiches, rücksichtsloses Verhalten wahrgenommen, welches zu Verärgerung führte.

Auch in dieser Situation zeigt sich die Variation des Verhaltens der Zielfahrzeuge somit sehr deutlich in der Bewertung des Fahrverhaltens.

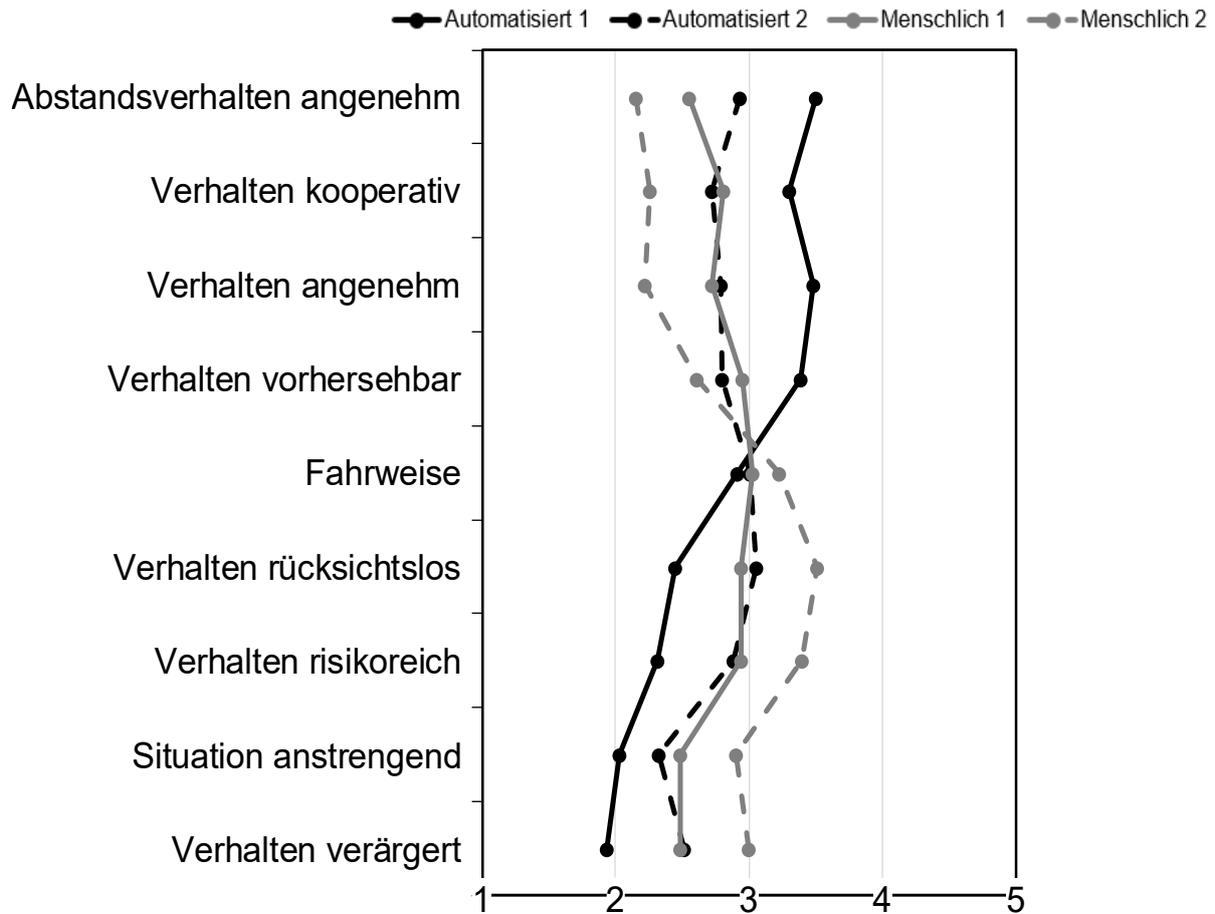


Abbildung 18: Profildigramm über die Bewertung der einzelnen Zielfahrzeugvarianten (Automatisiert 1, Automatisiert 2, Menschlich 1, Menschlich 2) auf den abgefragten Dimensionen mit Skalen (1 = sehr wenig, sehr defensiv bis 5 = sehr viel, sehr dynamisch), welche durch vier Linien dargestellt sind.

In der Gesamtbewertung der Situation auf der Gesamtbewertungsskala (siehe Abbildung 19) zeigte sich eine Hauptwirkung des Zielfahrzeugverhaltens, ($F(3,144) = 13.03$, $p < .001$, $\eta^2_{par} = .21$). Die Art der Kennzeichnung hatte keinen Einfluss auf die Gesamtbewertung, weder als Hauptwirkung ($F(2,48) = 0.48$, $p = .621$) noch als Wechselwirkung mit dem Zielfahrzeugverhalten ($F(6,144) = 0.96$, $p = .457$).

Paarweise Vergleiche bestätigen den Gesamteindruck aus den Profildigrammen. Die Fahrsituation wird als unangenehmer und gefährlicher bewertet, je geringer der Sekundenabstand des Zielfahrzeugs zum Ego-Fahrzeug war. Dementsprechend wurde die Variante Automatisiert 1 am angenehmsten bewertet ($M = 2.29$), wohingegen die Variante Menschlich 2 mit einer durchschnittlichen Bewertung zwischen „mittel unangenehm“ und „sehr unangenehm“ am gefährlichsten wahrgenommen wird ($M = 3.80$, $p_{\text{Menschlich2 vs. Menschlich1}} = .006$, $p_{\text{Menschlich2 vs. Automatisiert2}} = .004$, $p_{\text{Menschlich2 vs. Automatisiert1}} < .001$). Die beiden automatisierten Varianten

unterschieden sich nicht signifikant voneinander, wobei die Bewertungen der Variante Automatisiert 1 im Durchschnitt bei „wenig unangenehm“ lagen und die Bewertungen der Variante Automatisiert 2 bei „mittel unangenehm“ ($M = 2.86$). Analog zur ähnlichen Bewertung der Varianten Automatisiert 2 und Menschlich 1 in den Profildiagrammen unterschieden sich diese beiden Varianten auch hinsichtlich der Gesamtbewertung nicht voneinander. Die Variante Menschlich 1 wird im Durchschnitt ebenfalls als „mittel unangenehm“ bewertet ($M = 3.00$).

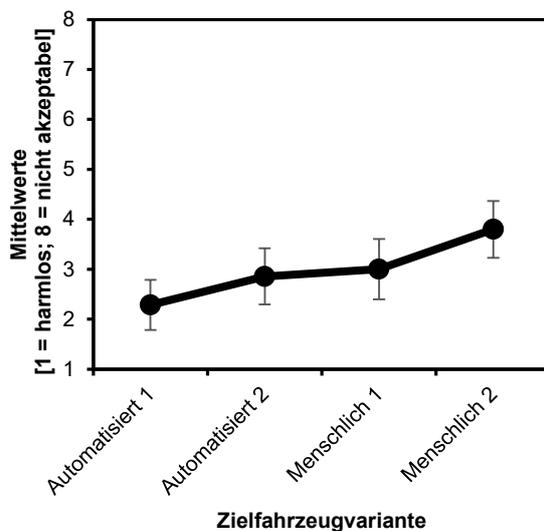


Abbildung 19: Bewertungen der Zielfahrzeugvarianten auf der Gesamtbewertungsskala der Situation, in der ein Zielfahrzeug vor dem Probanden auf den linken Fahrstreifen wechselt.

Beim Fahrverhalten wurden für diese Situation zunächst die Geschwindigkeit des Egofahrzeugs beim Spurwechsel des Zielfahrzeugs auf die eigene Spur erfasst. Zusätzlich wurde nach dem Einscheren des Zielfahrzeugs während der Folgefahrt zum Überholen des langsamen Fahrzeugs der minimale Sekundenabstand zum Zielfahrzeug nach vorne untersucht (siehe Abbildung 20).

Wie in Abbildung 20 links dargestellt, zeigte sich in der zweifaktoriellen Varianzanalyse weder eine Hauptwirkung des Zielfahrzeugverhaltens auf den minimalen Sekundenabstand zum vorausfahrenden Zielfahrzeug, ($F(3,144) = .52, p = .667$), noch eine Hauptwirkung der Art der Kennzeichnung ($F(2,48) = 0.49, p = .614$). Ebenso fand sich keine Wechselwirkung zwischen den beiden Faktoren ($F(6,144) = 0.56, p = .758$). Unabhängig vom Fahrverhalten und der Kennzeichnung der vorausfahrenden Zielfahrzeuge liegen die Sekundenabstände der Probanden nach vorne mit rund 0.7 s im sicherheitskritischen Bereich. Insgesamt hatten 31 (61 %) Probanden einen Abstand von unter 1s zum vorausfahrenden Fahrzeug der Variante Menschlich 2 (1.0

s Sekundenabstand) als dieses vor dem Ego-Fahrzeug auf den linken Fahrstreifen wechselte. Hinter der Variante Menschlich 1 (1.2 s Sekundenabstand) waren es 24 (47 %) Probanden. Hinter den beiden automatisierten Zielfahrzeugen (2.0 s bzw. 2.2 s Sekundenabstand) waren es 16 (31 %) Probanden bzw. 13 (26 %). Je dichter die vorausfahrenden Zielfahrzeuge vor dem Ego-Fahrzeug einscherten, desto mehr sicherheitskritische Abstände von unter einer Sekunde wurden erfasst.

Für die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs beim Fahrstreifenwechsel des Zielfahrzeugs in den eigenen Fahrstreifen (siehe Abbildung 20 rechts) zeigte sich eine signifikante Hauptwirkung des Zielfahrzeugverhaltens ($F(2.0,95.7) = 5.05, p = .002, \eta^2_{par} = .10$), aber kein Effekt der Art der Kennzeichnung ($F(2,48) = 0.48, p = .624$) oder eine Wechselwirkungen zwischen diesen beiden ($F(4.0,95.7) = 1.47, p = .218$). Auffällig ist, dass die Ego-Geschwindigkeit mit 123 km/h bei der Variante Menschlich 2 deutlich geringer ist als bei den anderen Varianten Automatisiert 1 (130 km/h), Automatisiert 2 (132 km/h) und Menschlich 1 (127 km/h). Die Probanden erhielten vorab eine Situationsbeschreibung, sodass sie bereits ahnten, dass das Zielfahrzeug in einem geringen Abstand zum Ego-Fahrzeug in den eigenen Fahrstreifen wechseln würde. Möglicherweise passten die Probanden daher vorsorglich ihre Geschwindigkeit an, um eine Kollision mit dem Zielfahrzeug zu vermeiden. Mittels paarweiser Vergleiche konnten signifikante Unterschiede zwischen der Variante Menschlich 2 und der Variante Automatisiert 2 ($p = .004$) sowie zwischen den Varianten Menschlich 1 und Automatisiert 2 ($p < .001$) nachgewiesen werden.

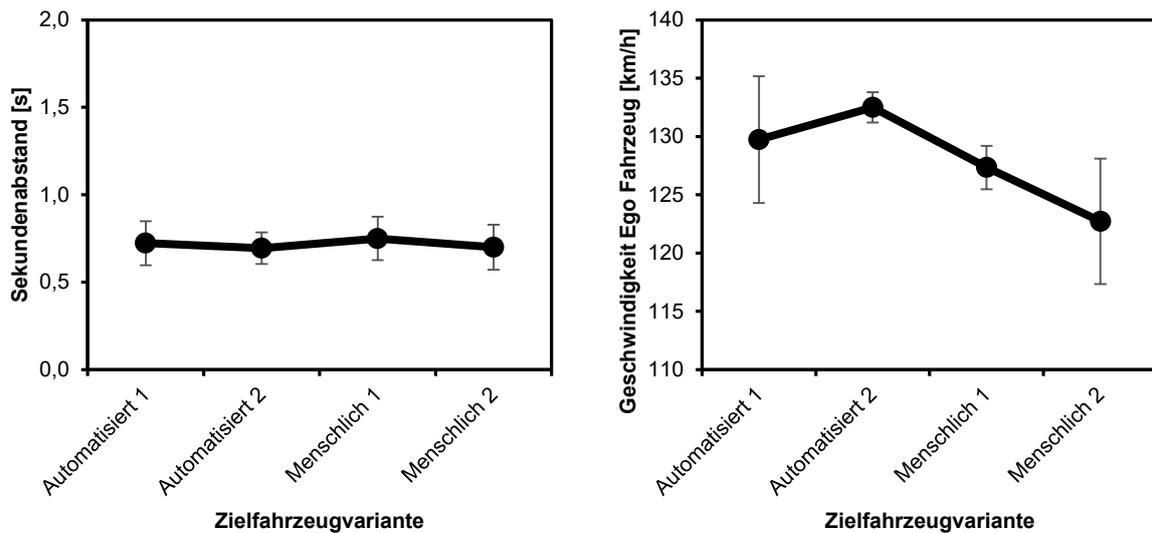


Abbildung 20: Links: Sekundenabstand zum Zielfahrzeug zum vorausfahrenden Zielfahrzeug auf dem linken Fahrstreifen beim Überholen des Lkw in Abhängigkeit von der Variante des Zielfahrzeugs. Rechts: Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs in Abhängigkeit von der Variante des Zielfahrzeugs, welches vor dem Probanden auf den linken Fahrstreifen wechselt.

Insgesamt ist damit für die Situation „Zielfahrzeug zum Überholen einscheren lassen“ für automatisierte Fahrzeuge festzuhalten:

- Automatisierte Fahrzeuge überholen ein langsames Fahrzeug bereits relativ früh mit einem großen Sekundenabstand zu diesem Fahrzeug. Allerdings war dieses frühe Überholen nicht eindeutig als automatisiertes Fahrverhalten erkennbar. Bereits ein geringfügig kleinerer Abstand zum überholten Fahrzeug wird eher einem menschlichen Fahrer zugeordnet.
- Die Kennzeichnung des aktuellen Fahrmodus erleichtert die korrekte Zuordnung des Verhaltens zum Fahrzeugtyp (manuell vs. automatisiert) nicht wesentlich. Die Variante Automatisiert 2 wirkt durch die richtige Kennzeichnung zwar weniger menschlich, dennoch liegen beide automatisierte Varianten im Bereich „unentschieden“ bis „eher menschlich“. Die Kennzeichnung wirkt aber insofern, dass eine falsche Kennzeichnung die korrekte Zuordnung menschlichen Fahrverhaltens erschwert.
- Möglicherweise erwarten Folgefahrer in dieser Situation, dass ein automatisiertes Fahrzeug entweder einen noch größeren Abstand zum langsamen Fahrzeug einhält oder gar keinen Fahrstreifenwechsel durchführt, um jegliches Kollisionsrisiko mit dem Folgefahrer zu vermeiden.
- Der frühzeitige Fahrspurwechsel der automatisierten Fahrzeuge wird vom Folgefahrer als eher angenehm, rücksichtsvoll und insgesamt akzeptabel

bewertet. Erst spät und mit wenig Abstand zum langsamen Fahrzeug auf den linken Fahrstreifen zu wechseln, wird als eher rücksichtslos und wenig angenehm bewertet, wobei die Bewertung extremer ausfällt, je geringer der Abstand ist.

- Die Art der Kennzeichnung hat dabei keinen Einfluss auf die Verhaltensbewertung. Diese hängt allein vom Fahrverhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs ab.
- Auffällig ist, dass die minimalen Sekundenabstände der Folgefahrer unabhängig vom Fahrverhalten des vorausfahrenden Zielfahrzeugs mit durchschnittlich unter einer Sekunde sicherheitskritisch waren. Alle Zielfahrzeuge hatten beim Überholen eine Geschwindigkeit um 120 km/h gefahren, was offensichtlich den Probanden für die Situation zu langsam erschien, sodass zumindest kurzzeitig diese minimalen Sekundenabstände um 0.7 Sekunden auftraten.

5.4.4 Folgefahrt hinter Zielfahrzeug (S04)

Bei der Frage, ob das Fahrverhalten des Zielfahrzeugs eher einem menschlichen oder automatisierten Fahrverhalten entspricht, zeigte sich in der zweifaktoriellen Varianzanalyse keine Hauptwirkung der Kennzeichnung ($F(2,48) = 1.72$, $p = .190$), aber eine Hauptwirkung der Automation ($F(1,48) = 37.39$, $p < .001$, $\eta^2_{par} = .44$) und eine Wechselwirkung ($F(2,48) = 10.62$, $p < .001$, $\eta^2_{par} = .31$). Wie in Abbildung 21 links dargestellt, werden bei keiner und richtiger Kennzeichnung die Verhaltensweisen der Zielfahrzeuge deutlich unterschiedlich und eher zutreffend eingeordnet. Bei falscher Kennzeichnung werden die als menschlich gekennzeichneten Fahrweisen eher automationsähnlich wahrgenommen und umgekehrt, sodass die Probanden sehr unsicher bei der Bewertung der Verhaltensweisen sind. Dies hat zur Folge, dass menschliche Verhaltensweisen, die als automatisiert gekennzeichnet sind, für die Probanden weniger menschlich wirken. Umgekehrt erleichtert aber eine richtige Kennzeichnung nicht die Zuordnung des Fahrverhaltens der Zielfahrzeuge zum korrekten Fahrmodus.

Die beiden automatisierten Zielfahrzeuge unterschieden sich im Bremsverhalten vor der Geschwindigkeitsbegrenzung auf 80 km/h. In der Variante Automatisiert 1 verzögerten Zielfahrzeuge mit 1.5 m/s^2 , sodass sie die zulässige

Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h vor dem Schild erreichen. In der Variante Automatisiert 2 bremste das Zielfahrzeug später, aber etwas stärker mit einer Verzögerung von 2.5 m/s^2 vor dem Schild auf 80 km/h ab. Beide automatisierte Zielfahrzeugvarianten beschleunigten erst nach Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung mit 2.0 m/s^2 (Automatisiert 1) bzw. mit 2.5 m/s^2 (Automatisiert 2) auf 120 km/h. Die manuellen Zielfahrzeuge verzögerten erst auf der Höhe des Schildes mit 1.5 m/s^2 bzw. mit 2.0 m/s^2 auf 85 km/h in Variante Menschlich 1 bzw. auf 90 km/h in der Variante Menschlich 2. Beide manuelle Zielfahrzeugvarianten beschleunigte in Sichtweite des Schildes zur Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung mit 2.0 m/s^2 (Menschlich 1) bzw. mit 2.5 m/s^2 (Menschlich 2) auf 120 km/h. Bei der Betrachtung der vier einzelnen Varianten sind diese insgesamt eindeutig zuzuordnen. Allerdings findet sich kein deutlicher Unterschied zwischen den beiden automatisierten Varianten und den beiden menschlichen Varianten (siehe Abbildung 21 rechts). Bei falscher Kennzeichnung waren die vier Varianten nicht eindeutig zuzuordnen und lagen im Mittel bei „unentschieden“.

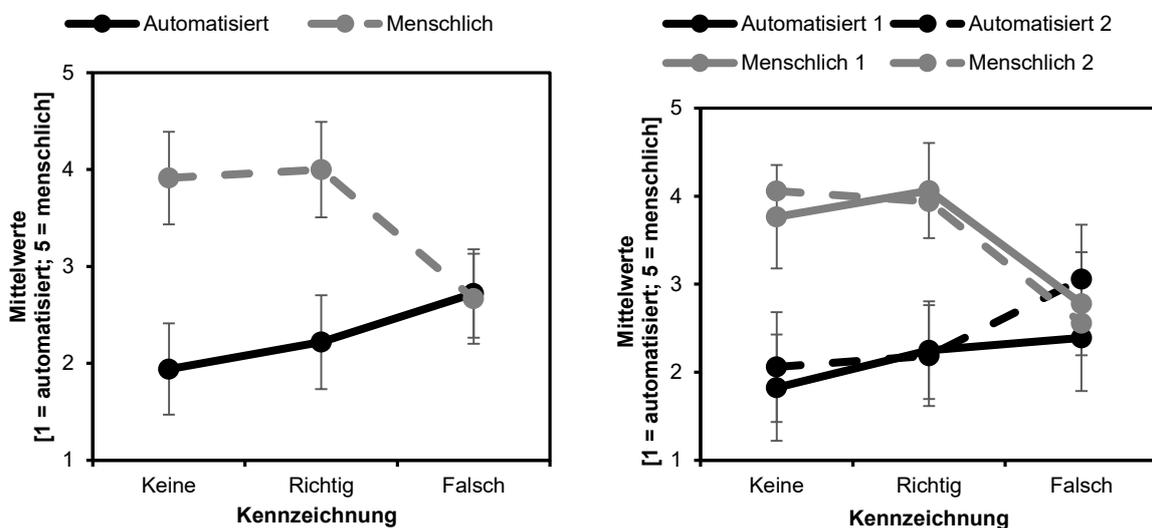


Abbildung 21: Links: Bewertung des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs als automatisiert (A, 1) oder menschlich (M, 5) in Abhängigkeit von der Art der Kennzeichnung, wenn der Proband dem Zielfahrzeug folgt. Rechts: Getrennte Darstellung der je zwei Varianten des menschlichen und automatisierten Fahrverhaltens und die entsprechende Beurteilung als eher automatisiert (1) oder menschlich (5).

Abbildung 22 zeigt die Häufigkeiten der Bewertung des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs als automatisiert oder menschlich in der Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung. Hierbei wurden die Kategorien „automatisiert“ und „eher

automatisiert“ zur Antwortkategorie „automatisiert“ zusammengefasst und die Kategorien „menschlich“ und „eher menschlich“ zu „menschlich“. Probanden in dieser Versuchsgruppe ordneten sowohl die automatisierten als auch die manuellen Zielfahrzeuge mit jeweils großen Mehrheiten von über 70 % korrekt zu. Das manipulierte Fahrverhalten entsprach somit den typischen erwarteten Ausprägungen automatisierten und menschlichen Fahrverhaltens in dieser Situation.

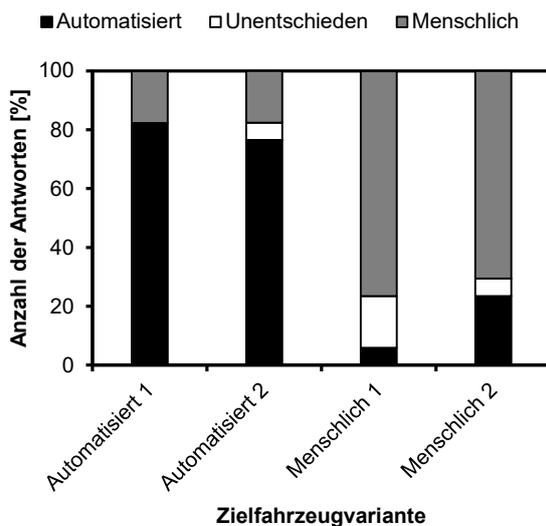


Abbildung 22: Bewertung des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs als automatisiert oder menschlich in Abhängigkeit von der Zielfahrzeugvariante, wenn der Proband dem Zielfahrzeug folgt.

Tabelle 8 zeigt, dass Probanden das Fahrverhalten der vier Zielfahrzeugvarianten auf den abgefragten Dimensionen teils sehr ähnlich, teils unterschiedlich bewerteten. Die Art der Kennzeichnung alleine hatte keinen Einfluss auf die Bewertung. Ebenso zeigten sich in der Varianzanalyse lediglich auf der Dimension Fahrweise eine Wechselwirkung zwischen der Art der Kennzeichnung und den Zielfahrzeugvarianten ($F(6,144) = 3.09$, $p = .007$, $\eta^2_{par} = .12$), welche hier nicht weiter dargestellt wird.

Tabelle 8: Hauptwirkungen und Wechselwirkungen der einzelnen Zielfahrzeugvarianten und der Art der Kennzeichnung auf die einzelnen abgefragten Bewertungsdimensionen.

	F_{Variante}	df	p	$F_{\text{Kennzeichnung}}$	df	p	$F_{\text{Kennzeichnung} \times \text{Variante}}$	df	p
Verhalten risikoreich	1.8	2,8,136.1	.164	.9	2,48	.403	1.0	5,7,136.1	.432
Verhalten angenehm	4.3	3,144	.006	.7	2,48	.513	.6	6,144	.735
Verhalten rücksichtslos	.5	2,6,125.9	.671	.8	2,48	.421	.9	5,2,125.9	.914
Verhalten verärgert	6.6	2,8,131.9	.001	.1	2,48	.883	.8	5,5,131.9	.822
Verhalten vorhersehbar	3.5	3,144	.018	.5	2,48	.547	.7	6,144	.716
Verhalten kooperativ	6.2	3,0,142.0	.001	.8	2,48	.759	.7	5,9,142.0	.654
Fahrweise	21.3	3,144	< .001	.5	2,48	.528	3.1	6,144	.007
Situation anstrengend	2.2	3,144	.09	.5	2,48	.532	.9	6,144	.116
Angenehmer Abstand	2.2	3,144	.087	.4	2,48	.391	.2	6,144	.865
Bremsverhalten	1.4	3,144	.234	.1	2,48	.148	.5	6,144	.511
Angenehmes Bremsverhalten	6.5	3,144	< .001	.8	2,48	.794	.5	6,144	.482
Risikoreiches Bremsverhalten	4.0	2,8,137.8	.009	1.0	2,48	.976	.6	5,7,137.8	.636
Beschleunigungsverhalten	18.3	3,144	< .001	.1	2,48	.068	.6	6,144	.611
Angenehmes Beschleunigungsverhalten	4.7	3,144	.004	.6	2,48	.553	2.0	6,144	.069
Risikoreiches Beschleunigungsverhalten	.8	3,144	.489	1.0	2,48	.977	1.1	6,144	.393

Anmerkungen. Bei Verletzung der Sphärizitätsannahme sind je nach Größe von ϵ die nach Greenhouse-Geisser ($\epsilon < .75$) oder nach Huynh-Feldt ($\epsilon > .75$) korrigierten Werte der Freiheitsgrade abgetragen.

Die Profildiagrammverläufe in Abbildung 23 zeigen, auf welchen Dimensionen sich die vier Zielfahrzeugvarianten unterscheiden. Auffällig ist, dass die Probanden im Mittel die Variante Menschlich 2 am positivsten bewerteten. Dieses Fahrverhalten wurde als eher angenehm und kooperativ und rücksichtsvoll im Vergleich zu den anderen Zielfahrzeugvarianten beurteilt. Im Gegensatz dazu wurde das strikte Einhalten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h, wie es bei den beiden automatisierten Varianten der Fall war, als eher risikoreich bewertet. Die Bewertungsunterschiede sind jedoch gering und zeigen keine extremen Ausprägungen auf den abgefragten Dimensionen.

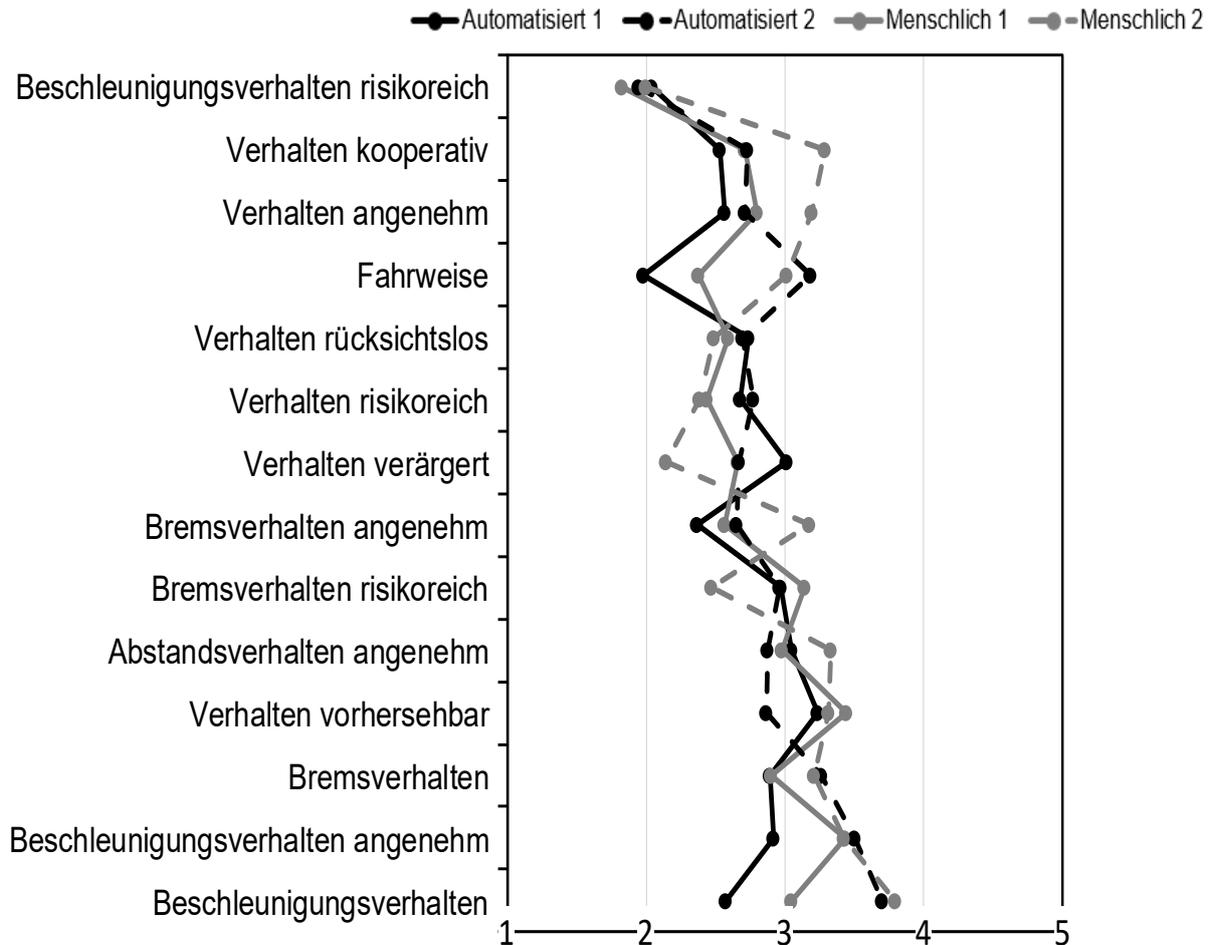


Abbildung 23: Profildiagramm über die Bewertung der einzelnen Zielfahrzeugvarianten (Automatisiert 1, Automatisiert 2, Menschlich 1, Menschlich 2) auf den abgefragten Dimensionen mit Skalen (1 = sehr wenig, sehr defensiv bis 5 = sehr viel, sehr dynamisch), welche durch vier Linien dargestellt sind.

Die sehr ähnlichen Bewertungen der Zielfahrzeugvarianten zeigen sich auch auf der Gesamtbewertungsskala, wie Abbildung 24 dargestellt. In der Gesamtbewertung der Situation auf der Gesamtbewertungsskala (siehe Abbildung 24) zeigten sich keine Hauptwirkungen der Zielfahrzeugvarianten ($F(3,144) = 1.44, p = .234$) oder der Art der Kennzeichnung $F(3,144) = .43, p = .651$). Ebenso gab es keine Wechselwirkung mit der Variante ($F(6,144) = 0.09, p = .998$). Im Mittel liegen die Bewertungen aller Varianten auf der Gesamtbewertungsskala zwischen „wenig unangenehm“ und „mittel unangenehm“.

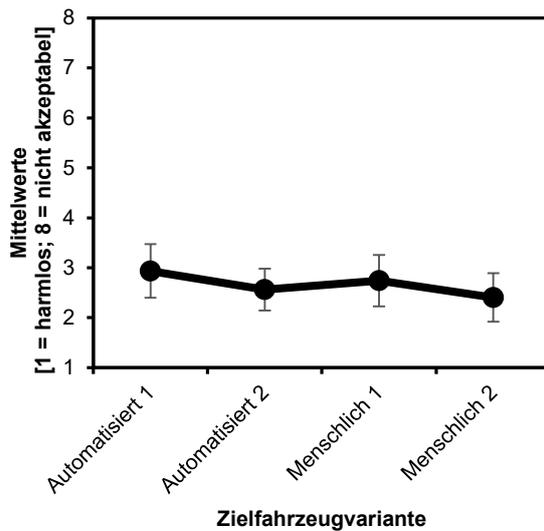


Abbildung 24: Bewertungen der Zielfahrzeugvarianten auf der Gesamtbewertungsskala der Situation, wenn der Proband dem Zielfahrzeug folgt.

Als objektive Messwerte wurden für diese Situation der mittlere und minimale Sekundenabstand zum Zielfahrzeug im Bereich der Geschwindigkeitsbegrenzung analysiert (siehe Abbildung 25).

Wie in Abbildung 25 links dargestellt, zeigte sich in der einfaktoriellen Varianzanalyse eine Hauptwirkung der Zielfahrzeugvariante auf den mittleren Sekundenabstand zum Zielfahrzeug nach vorne ($F(3,144) = 4.28, p = .006, \eta^2_{par} = .08$). Die Art der Kennzeichnung zeigte weder eine Hauptwirkung ($F(2,48) = 0.40, p = .676$), noch eine Wechselwirkung ($F(6,144) = 0.51, p = .800$). Die mittleren Sekundenabstände zu den Zielfahrzeugen lagen durchweg im sicheren Bereich zwischen 2.0s und 2.3s, wobei paarweise Vergleiche signifikante Unterschiede zwischen den Varianten Menschlich 1 und Menschlich 2 zeigten. Bei Menschlich 2 waren die mittleren Sekundenabstände am größten.

Hinsichtlich des minimalen Sekundenabstand zum Zielfahrzeug nach vorne bestätigte sich der Gesamteindruck der Profildiagrammverläufe (siehe Abbildung 25 rechts). In der einfaktoriellen Varianzanalyse zeigte sich eine Hauptwirkung des Zielfahrzugsverhaltens auf den minimalen Sekundenabstand zum Zielfahrzeug nach vorne ($F(2.6,124.5) = 21.00, p < .001, \eta^2_{par} = .30$). Die Art der Kennzeichnung zeigte weder eine Hauptwirkung ($F(2,48) = 1.09, p = .343$) noch eine Wechselwirkung mit dem Zielfahrzeugverhalten ($F(5.2,124.5) = 1.09, p = .371$). Paarweise Vergleiche zeigen, dass der minimale Sekundenabstand zum vorausfahrenden Zielfahrzeug zu den beiden automatisierten Zielfahrzeugen im Mittel signifikant geringer war als zu den beiden menschlichen Varianten ($p < .001$). Der minimale Sekundenabstand zur

Variante Automatisiert 1, welche vor bereits vor der Geschwindigkeitsbegrenzung auf 80 km/h abbremste, fiel mit knapp 1 s Sekundenabstand am geringsten aus und lag im grenzwertig sicherheitskritischen Bereich. Der minimale Sekundenabstand zu Zielfahrzeugen der Variante Menschlich 2, welches auf 90 km/h abbremste, war mit 1.7 s Sekundenabstand am größten.

Insgesamt gab es deutlich mehr Probanden, die einen minimalen Sekundenabstand von weniger als einer Sekunde den beiden automatisierten Zielfahrzeugen einhielten verglichen mit den Sekundenabständen zu den manuellen Zielfahrzeugen. Zu den beiden automatisierten Varianten hatten 31 (61 %) Probanden (Automatisiert 1) bzw. 29 (57 %) Probanden einen sicherheitskritischen minimalen Abstand. Zu den beiden menschlichen Varianten hingegen hatten nur 19 (38 %) Probanden (Menschlich 1) bzw. 15 (29 %) Probanden einen sicherheitskritischen minimalen Abstand von unter 1 s.

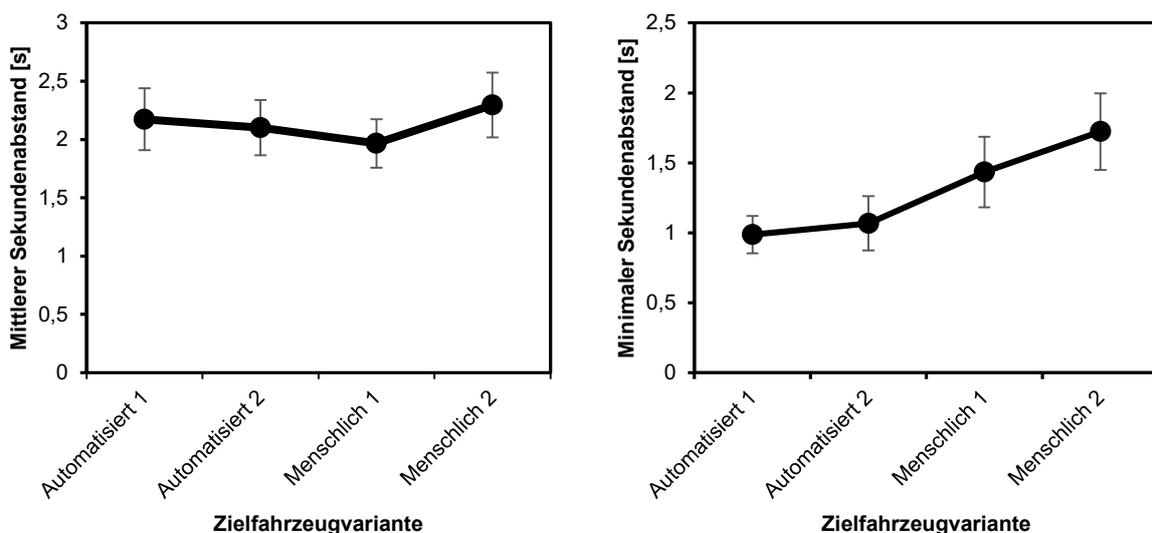


Abbildung 25: Links: Mittlerer Sekundenabstand zum Zielfahrzeug nach vorne in Abhängigkeit von der Variante des Zielfahrzeugs, wenn der Proband dem Zielfahrzeug folgt. Rechts: Minimaler Sekundenabstand zum Zielfahrzeug nach vorne in Abhängigkeit von der Variante des Zielfahrzeugs, wenn der Proband dem Zielfahrzeug folgt.

Insgesamt ist damit für die Situation der Folgefahrt mit Geschwindigkeitsbegrenzung für automatisierte Fahrzeuge festzuhalten:

- Automatisierte Fahrzeuge halten sich stets an die zulässige Höchstgeschwindigkeit und erreichen diese bereits am Schild. Dazu bremsen sie bereits weit vor dem entsprechenden Schild ab.

- Dieses Verhalten wird als mittelmäßig angenehm und insgesamt als akzeptabel, aber gleichzeitig auch als eher risikoreich, bewertet.
- Dieses Verhalten führt auch zu geringen minimalen Sekundenabständen nachfolgender menschlicher Fahrer, welche im grenzwertig sicheren Bereich liegen. Basierend auf den minimalen Sekundenabständen ergab sich in dieser Fahrsituation zumindest ein Gefährdungspotenzial für menschliche Folgefahrer.
- Das Abbremsen auf Höhe des Schildes inklusive der Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Bereich des Tempolimits wird eher menschlichen Fahrern zugeordnet.
- Dieses Fahrverhalten wird als eher angenehm und insgesamt akzeptabel bewertet.
- Die Kennzeichnung als automatisierte Fahrzeuge erleichtert die korrekte Zuordnung des Verhaltens zum Fahrzeugtyp (manuell vs. automatisiert) in dieser Situation nicht. Eine falsche Kennzeichnung erschwert die korrekte Zuordnung.
- Die Kennzeichnung hat keinen Einfluss die Bewertung des Fahrverhaltens in dieser Situation. Die Bewertung des Verhaltens ist allein vom Fahrverhalten eines Fahrzeugs abhängig.

5.4.5 Transfersituation (S05)

In der Transfersituation reagierten die Probanden auf den Fahrstreifenwechsel eines vorausfahrenden Zielfahrzeugs in der Variante Automatisiert 1. Im Gegensatz zu den vorherigen Fahrsituationen erlebten Probanden diese Fahrsituation nur einmal. Die Transfersituation war vergleichbar zur Situation S03 aufgebaut, mit dem Unterschied, dass die Probanden durch ihr eigenes Fahrverhalten entscheiden konnten, ob sie das vorausfahrende Zielfahrzeug zum Überholen in den eigenen Fahrstreifen einscheren ließen oder nicht. Von $N = 51$ Probanden absolvierten $n = 50$ Probanden die Folgefahrt, ein Proband beendete die Fahrsimulatorfahrt aufgrund von Übelkeit nach den vier Fahrszenarien vorzeitig.

Insgesamt ließen $n = 20$ ($n_{\text{Keine Kennzeichnung}} = 6$, $n_{\text{Richtige Kennzeichnung}} = 7$, $n_{\text{Falsche Kennzeichnung}} = 7$) Probanden das Zielfahrzeug vor sich auf dem eigenen Fahrstreifen einscheren. Die restlichen $n = 30$ Probanden taten dies nicht. Jedoch gaben nur $n = 2$ Probanden

(aus der Gruppe mit richtiger Kennzeichnung) an, das Zielfahrzeug aktiv am Fahrstreifenwechsel gehindert zu haben, um nicht ausgebremst zu werden oder weil die Absicht des Zielfahrzeugs zum Fahrstreifenwechsel nicht erkannt wurde. Damit ist nicht erkennbar, dass ein Fahrzeug, das als hochautomatisiertes Fahrzeug markiert ist (richtige und falsche Kennzeichnung) häufiger am Einscheren gehindert wird als ein Fahrzeug ohne diese Kennzeichnung. Dies mag dadurch bedingt sein, dass alle Probanden in der vierten Situation relativ häufig erfahren hatten, dass ein einscherendes (hochautomatisiertes) Vorderfahrzeug sie im Bereich der Geschwindigkeitsbegrenzung durch regelkonformes Verhalten ausbremst und deshalb in allen Gruppen in etwa gleicher Häufigkeit dieses Einscheren verhindert wurde.

Als objektive Messwerte wurden der mittlere und der minimale Sekundenabstand der Probanden im Bereich der Geschwindigkeitsbegrenzung analysiert. Die Ergebnisse beziehen sich auf die $n = 20$ Probanden, vor denen das Zielfahrzeug einscherte.

Wie in Abbildung 26 dargestellt, zeigten sich in den einfaktoriellen Varianzanalysen der Sekundenabstände zum Zielfahrzeug nach vorne keine Hauptwirkungen der Art der Kennzeichnung, weder für den mittleren Sekundenabstand ($F(2,17) = 0.60$, $p = .559$), noch für den minimalen Sekundenabstand ($F(2,17) = 0.43$, $p = .660$). Die Art der Kennzeichnung beeinflusste also nicht das Abstandsverhaltens der Probanden zum Zielfahrzeug nach vorne. Dennoch ist auffällig, dass die minimalen Sekundenabstände zum Zielfahrzeug nach vorne mit weniger als 1s im grenzwertigen Bereich liegen.

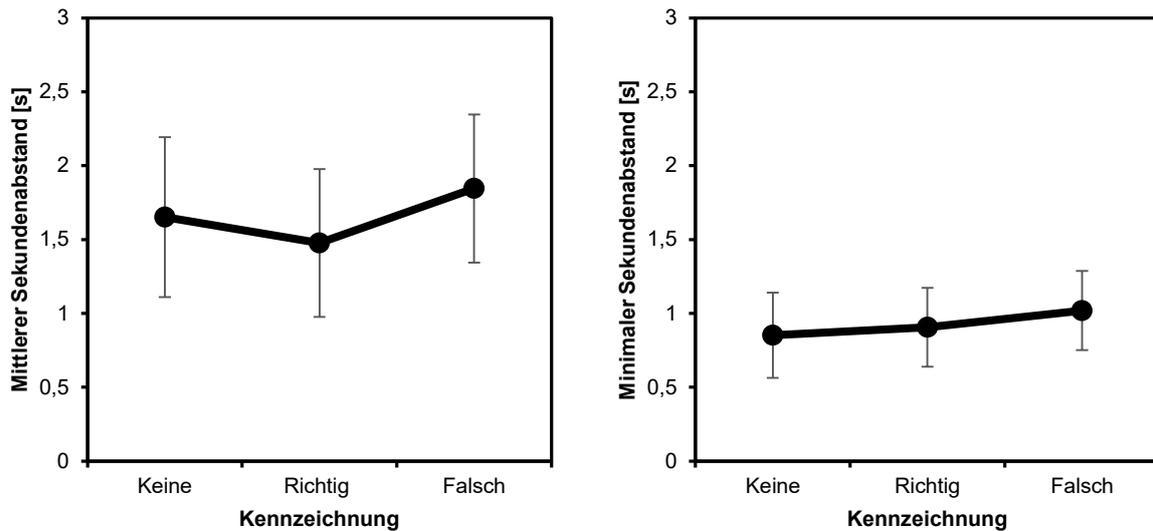


Abbildung 26: Links: Mittlerer Sekundenabstand zum vorausfahrenden Zielfahrzeug auf dem linken Fahrstreifen beim Überholen des Lkw. Rechts: Minimaler Sekundenabstand zum vorausfahrenden Zielfahrzeug auf dem linken Fahrstreifen beim Überholen des Lkw.

Insgesamt ist damit für die Transfersituation mit Geschwindigkeitsbegrenzung für automatisierte Fahrzeuge festzuhalten:

- In einer Situation, in der ein hochautomatisiertes Fahrzeug zum Überholen bei einer Geschwindigkeitsbegrenzung auf die eigene Spur wechseln will, ließen nur 20 von 50 Probanden dieses Fahrzeug die Spur wechseln. Die anderen wollten möglicherweise verhindern, durch dieses Fahrzeug in der Geschwindigkeitsbegrenzung ausgebremst zu werden.
- Bei diesen 20 Probanden lag der minimale Sekundenabstand mit knapp unter 1 s im grenzwertigen Bereich, was darauf hindeutet, dass menschliche Fahrer ihr Abstandsverhalten als Reaktion auf das vorausfahrende Fahrzeug möglicherweise nicht hinreichend anpassten.

5.4.6 Einstellung gegenüber einer Kennzeichnung hochautomatisierter Fahrzeuge

Im Anschluss an die Simulatorfahrt bewerteten die Probanden die Idee, automatisierte Fahrzeuge im Straßenverkehr zu kennzeichnen. Wie in Abbildung 27 dargestellt, fiel die Bewertung in Abhängigkeit der in der Fahrt erlebten Art der Kennzeichnung unterschiedlich aus.

In der Gruppe ohne Kennzeichnung sprach sich eine Mehrheit von 12 (71 %) Probanden für eine Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge aus, wohingegen eine Minderheit von 12 % die Idee einer Kennzeichnung automatisierter als schlechte Idee

bewertete. 29 % der Probanden standen der Idee, automatisierte Fahrzeuge zu kennzeichnen, neutral gegenüber. In dieser Gruppe gaben weiterhin 10 (59 %) Probanden an, dass sie sich eine Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge während der Simulatorfahrt gewünscht hätten.

Demgegenüber fiel die Bewertung der Probanden in der Gruppe mit richtiger Kennzeichnung, wo sich Kennzeichnung auf den aktuellen Fahrmodus eines Fahrzeugs bezog, weniger eindeutig aus. Während 52 % der Probanden die Idee einer Kennzeichnung als gut oder sehr gut bewerteten, lehnten 38 % eine Kennzeichnung ab. 31 % der Probanden hatten keine eindeutige Meinung.

In der Gruppe, welche die falsche Kennzeichnung während der Versuchsfahrt erlebte, fiel die Tendenz ähnlich aus. 50 % der Probanden war der Kennzeichnung gegenüber positiv eingestellt, wohingegen 28 % diese ablehnte und 22 % der Probanden dieser Idee neutral gegenüberstehen. Allerdings gibt es in dieser Gruppe auch einen geringen Anteil (6 %) von Probanden, welche eine Kennzeichnung hochautomatisierter Fahrzeuge als sehr schlechte Idee bewertete. Diese Kategorie wurde ausschließlich von Probanden in dieser Versuchsgruppe vergeben. Möglicherweise entstand diese negative Bewertung aufgrund Inkongruenz zwischen erlebtem Fahrverhalten und Kennzeichnung.

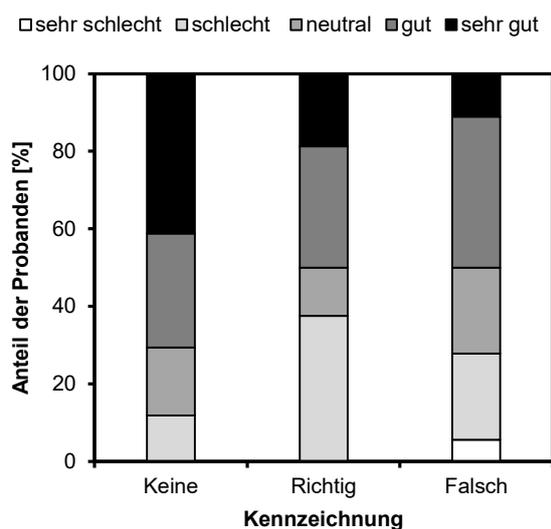


Abbildung 27: Bewertung der Idee, automatisierte Fahrzeuge als solche nach außen zu kennzeichnen in Abhängigkeit der Art der Kennzeichnung.

Es ist denkbar, dass die Einstellungen der Probanden gegenüber einer Kennzeichnung schon vor dem Versuch bestanden, da das Thema der Kennzeichnung von hochautomatisierten Fahrzeugen einigen Probanden möglicherweise bereits

bekannt war. Insgesamt ist auffällig, dass die Kennzeichnung positiver von Probanden in der Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung bewertet wurde als in den beiden anderen Versuchsgruppen mit Kennzeichnung.

Bei der Einführung hochautomatisierter Systeme in den öffentlichen Straßenverkehr wünschen sich $n = 22$ (43 %) Probanden eine Kennzeichnung auf allen Straßen (Stadtverkehr, Landstraßen, Autobahnen), wohingegen sich $n = 15$ (29 %) Probanden generell gegen eine Kennzeichnung unabhängig vom Straßentyp aussprachen. Abbildung 28 zeigt die gruppenspezifische Antwortverteilung auf diese Frage. Bei den prozentualen Angaben ist zu beachten, dass bei dieser Frage eine Mehrfachauswahl möglich war. Tendenziell sind die Präferenzen für eine Kennzeichnung gruppenübergreifend ähnlich. Auffällig ist, dass etwa 10 % mehr Probanden in der Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung sich spezifisch eine Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge auf der Autobahn wünschen als in den beiden Versuchsgruppen mit richtiger bzw. mit falscher Kennzeichnung.

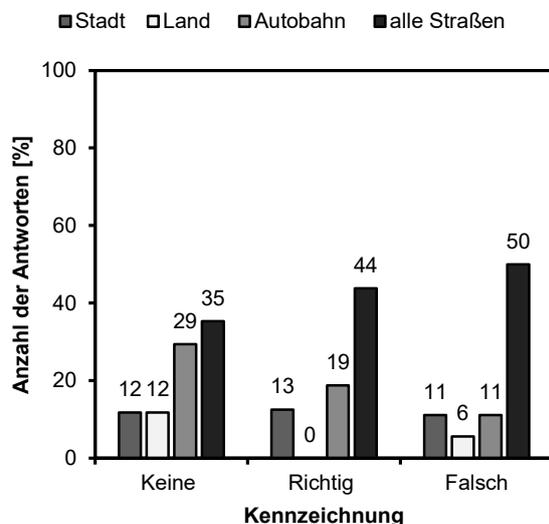


Abbildung 28: Gruppenspezifische Bewertung der Frage, auf welchen Straßentypen hochautomatisierte Fahrzeuge bei Einführung gekennzeichnet werden sollen.

Weiterhin sollten die Probanden in der Nachbefragung angeben, ob sie sich aufgrund der Kennzeichnung anders gegenüber automatisierten Zielfahrzeugen als gegenüber manuell gesteuerten Zielfahrzeugen verhalten hatten. Hier gab eine Mehrheit von $n = 29$ Probanden, die die Kennzeichnung in der Versuchsfahrt erlebten hatten, an, sich nicht anders gegenüber den gekennzeichneten Fahrzeugen verhalten zu haben (Richtige Kennzeichnung: 63 %; Falsche Kennzeichnung: 78 %).

Von den anderen 22 Probanden (Richtige Kennzeichnung: 38 %; Falsche Kennzeichnung: 2 2%), die ihr Verhalten gegenüber den gekennzeichneten Zielfahrzeugen anders verhielten, gaben 8 (36 %) an, vorsichtiger gefahren zu sein. Weitere 7 (32 %) fanden das hochautomatisierte Fahrverhalten durch die Kennzeichnung berechenbarer. 4 (18 %) gaben an, selbst risikobereiter beim Fahren gewesen zu sein. Die Analyse der Fahrdaten lieferte jedoch keinen Hinweis darauf, dass diese sich Probanden tatsächlich anderes gegenüber gekennzeichneten Fahrzeugen verhielten als die restlichen Probanden. Somit war eine Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge nicht verhaltensrelevant für die Probanden während der Simulatorfahrt.

5.4.7 Einstellung gegenüber hochautomatisierten Fahrzeugen vor und nach der Simulatorfahrt

Die Einstellung der Probanden gegenüber hochautomatisierten Fahrzeugen wurde vor und nach der Versuchsfahrt erfasst. Abbildung 29 zeigt, dass die Einstellung vor der Versuchsfahrt bei allen Probanden ähnlich war und im Mittel zwischen „unentschieden“ und „eher positiv“ lag. Nach der Simulatorfahrt unterschieden sich die Probanden in Abhängigkeit der Art der Kennzeichnung. Die zweifaktorielle Varianzanalyse (Faktor A: Kennzeichnung, Faktor B: Messzeitpunkt vor und nach der Simulatorfahrt) ergab keine Hauptwirkungen der beiden Faktoren Kennzeichnung ($F(2,48) = 1.87, p = .165$) und Messzeitpunkt ($F(1,48) = 1.02, p = .317$), jedoch eine Wechselwirkung zwischen den beiden Faktoren ($F(2,48) = 3.53, p = .037, \eta^2_{par} = .13$). Probanden, die eine richtige Kennzeichnung sahen, waren nach der Fahrt positiver gegenüber hochautomatisierten Fahrzeugen eingestellt als Probanden, die zuvor entweder keine oder eine falsche Kennzeichnung erlebt hatten. Eine zutreffende Kennzeichnung des aktuellen Fahrmodus führt damit zu einer besseren Bewertung hochautomatisierter Fahrzeuge. Ohne Kennzeichnung ist das Verhalten den hochautomatisierten Fahrzeugen schlechter zuzuordnen, sodass diese dann nach dem Erleben der verschiedenen Situationen schlechter beurteilt werden.

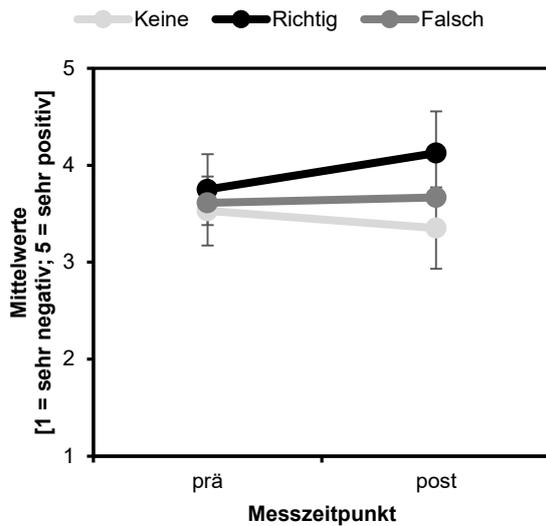


Abbildung 29: Bewertung einer Kennzeichnung von hochautomatisierten Fahrzeugen nach außen in Abhängigkeit der Art der Kennzeichnung.

5.5 Fragestellungen und Antworten

Die Studie untersuchte die Reaktion menschlicher Fahrer auf das Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge im Mischverkehr auf der Autobahn. Dabei lag der Fokus auf dem Erstkontakt menschlicher Fahrer mit diesen Fahrzeugen in ausgewählten Fahrsituation, welche hochautomatisierte Fahrzeuge der ersten Generation vermutlich selbstständig bewältigen werden. Die Reaktion auf das Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge wurde in Abhängigkeit von der Art der Kennzeichnung des hochautomatisierten Fahrmodus (keine Kennzeichnung, richtige Kennzeichnung, falsche Kennzeichnung) und des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs (automatisiert, menschlich; in jeweils zwei Varianten) untersucht. Die Reaktion menschlicher Fahrer wurde sowohl auf subjektiver Ebene mittels Fragebögen und auf objektiver Ebene mittels Fahrdatenanalyse erfasst. Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse zunächst zusammenfassend nach Fragestellungen dargestellt.

5.5.1 Sind hochautomatisierte Fahrzeuge an ihrem Fahrverhalten für menschliche Fahrer im Mischverkehr erkennbar?

Nach jeder erlebten Situation waren die Fahrer befragt worden, ob das Fahrverhalten des anderen Fahrzeugs eher automatisiert oder menschlich gewirkt hatte. Über alle Situationen hinweg wurden das Fahrverhalten der hochautomatisierten Fahrzeuge sehr zutreffend als automatisiert erkannt. Der Unterschied war am geringsten in der

Situation, in der das hochautomatisierte Fahrzeug zum Überholen vor dem Egofahrzeug in die linke Spur wechselte. Typische Verhaltensweisen hochautomatisierter Fahrzeuge auf der Autobahn sind damit folgende:

Wenn man als menschlicher Fahrer vor einem hochautomatisierten Fahrzeug auf die Spur wechselt (beim Einfädeln auf die Autobahn oder zum Überholen), reagieren diese sehr schnell und halten einen großen Sekundenabstand (1.8 bis 2 Sekunden). Bei Geschwindigkeitsbegrenzungen erreichen hochautomatisierte Fahrzeuge am Schild die zulässige Höchstgeschwindigkeit, halten diese dann genau ein und beschleunigen erst in Höhe des Schilds, das die Geschwindigkeitsbegrenzung aufhebt. Wenn hochautomatisierte Fahrzeuge selbst die Spur wechseln, dann in relativ großem Abstand zu einem langsamen Vorderfahrzeug, das sie überholen wollen. Dieses Verhalten war allerdings am wenigsten eindeutig und kommt anscheinend auch bei menschlichen Fahrern häufig vor.

Diese Erkennbarkeit zeigte sich sehr deutlich in der Gruppe, in der die Fahrzeuge nicht gekennzeichnet waren. Damit ist allein das Verhalten dafür verantwortlich, dass diese Fahrzeuge als hochautomatisiert erkannt wurden. Diese Interpretation wird auch durch das Ergebnis unterstützt, dass die zusätzliche Kennzeichnung nach außen keine bessere Zuordnung des Verhaltens ermöglichte.

Obwohl die hochautomatisierten Fahrzeuge damit sehr gut an ihrem Verhalten in diesen Situationen erkennbar sind, liegt dieses Verhalten nicht völlig außerhalb des Bereichs des Verhaltens menschlicher Fahrer. Zum Beispiel wurde beim Einfädeln vor einem hochautomatisierten Fahrzeug die erste Variante mit einem Sekundenabstand von 2 Sekunden von 70 % der Probanden als automatisiertes Verhalten eingeschätzt, die zweite Variante mit einem Sekundenabstand von 1.8 Sekunden nur von etwa 40 %. Bei der Situation, in der das hochautomatisierte Fahrzeug in der Variante 2 zum Überholen die Spur wechselte, wirkte dieses Verhalten mit einem Wechsel bei einem Sekundenabstand nach vorn von 2 Sekunden sogar als eher menschlich. Selbst bei dem strengen Einhalten der Geschwindigkeitsbegrenzung gaben noch etwa 20 % der Fahrer an, dass dieses Verhalten menschlich sein könne. Hochautomatisierte Fahrzeuge sind an ihrem Verhalten auf der Autobahn bei der Interaktion bei einem Spurwechsel (Mensch wechselt vor der Automation auf die Fahrspur oder Automation wechselt auf die Spur vor dem Menschen) und bei dem strengen Einhalten von Geschwindigkeitsbegrenzungen als hochautomatisiert erkennbar. Dieses Verhalten

liegt aber immer noch im Bereich eines menschlichen Verhaltens und ist nicht völlig ungewöhnlich.

5.5.2 Wirkt das Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge unangenehm oder gefährlich?

Nach jeder erlebten Situation wurden die Fahrer gebeten, das Verhalten der automatisierten oder menschlichen Fahrzeuge insgesamt zu bewerten auf einer Skala, die von „harmlos“ über „unangenehm“, „gefährlich“ bis zu „nicht akzeptabel“ reichte. Weiter wurden verschiedene Aspekte des Verhaltens beurteilt und bewertet.

Insgesamt erscheint das Verhalten der automatisierten Fahrzeuge teilweise etwas unangenehm, aber in keiner der Situationen gefährlich. Das Verhalten menschlicher Fahrer wird eher als gefährlich bezeichnet, z.B., wenn diese beschleunigen, um einen Spurwechsel zu verhindern oder erst sehr spät ein langsames Fahrzeug überholen.

Auch bei den differenzierten Bewertungen wird der große Abstand, den hochautomatisierte Fahrzeuge nach einem Wechsel in die Spur vor ihnen zeigen, als angenehm, kooperativ, rücksichtsvoll und eher positiv erlebt. Gleiches gilt, wenn die hochautomatisierten Fahrzeuge sehr früh selbst die Spur wechseln, um ein langsames Fahrzeug zu überholen. Selbst in der Folgefahrt, bei der sich die hochautomatisierten Fahrzeuge genau an die Geschwindigkeitsbegrenzung halten, unterscheiden sich die Bewertungen kaum von denen menschlicher Fahrer. Das Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge auf der Autobahn wird in den Interaktionssituationen als angenehm und kooperativ erlebt und eher positiv bewertet. Selbst die genaue Einhaltung der Geschwindigkeitsbegrenzung wird nur als wenig ärgerlich erlebt.

5.5.3 Führt das Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge zu einem risikoreichen oder gefährlichen Verhalten menschlicher Fahrer oder zu kritischen Situationen?

In zwei Situationen wechselte das eigene Fahrzeug auf die Spur vor dem hochautomatisierten Fahrzeug, einmal beim Einfädeln auf die Autobahn und zum anderen zum Überholen eines langsamen Fahrzeugs. Die hochautomatisierten Fahrzeuge reagierten hier sehr schnell und vergrößerten den Sekundenabstand, sodass dies für die menschlichen Fahrer angenehm und kooperativ erschien. Von diesem Fahrverhalten her erscheint die Interaktion mit hochautomatisierten

Fahrzeugen damit eher sicherer und entspannter als mit menschlichen Fahrern, die teilweise dichter auffahren.

In einer weiteren Situation wechselte das hochautomatisierte Fahrzeug zum Überholen eines langsamen Führungsfahrzeugs in die Spur des eigenen Fahrzeugs. Dies geschah bei relativ großem Abstand zu dem langsamen Vorderfahrzeug im Vergleich zu menschlichen Fahrern. Beim Überholen verhielten sich hochautomatisierte und menschliche Fahrzeuge vergleichbar. Entsprechend zeigt sich in der Folgefahrt auch kein Unterschied in Bezug auf den minimalen Sekundenabstand, den menschliche Fahrer zu den Zielfahrzeugen einhielten. Direkt beim Einscheren in die eigene Fahrspur hatten die Probanden bei menschlichen Fahrzeugen, die relativ spät einscherten, bereits die Geschwindigkeit reduziert, um so eine gefährliche Situation zu vermeiden. Auch in dieser Situation zeigen sich damit keine Hinweise, dass die Interaktion mit hochautomatisierten Fahrzeugen gefährlich oder unangemessen abläuft.

Die letzte Situation war eine Folgefahrt, bei der das Zielfahrzeug führte. Dabei wurde ein langsamer Lkw auf der linken Spur überholt. Gleichzeitig begann eine Geschwindigkeitsbegrenzung, die von den hochautomatisierten Fahrzeugen exakt eingehalten wurde (Zielgeschwindigkeit am Schild, exaktes Einhalten der Geschwindigkeit, Beschleunigung erst am Schild mit der Aufhebung der Begrenzung). Bei dieser Folgefahrt erschien der mittlere Sekundenabstand unauffällig und sicher. Allerdings traten bei den hochautomatisierten Varianten deutlich geringere minimale Sekundenabstände auf. Ähnlich niedrige minimale Sekundenabstände fanden sich auch in der Transfersituation am Ende der Fahrt, wo nur ein hochautomatisiertes Fahrzeug untersucht wurde. Vermutlich erscheint dieses exakte Einhalten der Geschwindigkeitsbegrenzung menschlichen Fahrern ungewöhnlich, sodass zumindest kurzzeitig sehr kleine Sekundenabstände auftauchen. Allerdings scheint dies nicht zu einem ständigen Drängeln mit geringen Sekundenabständen zu führen, wie der mittlere Sekundenabstand zeigt.

In der Transfersituation ließen allerdings nur 20 von 51 menschlichen Fahrern die hochautomatisierten Fahrzeuge einscheren. Die restlichen Fahrer wollten vermutlich vermeiden, dass sie durch diese Fahrzeuge bei der Geschwindigkeitsbegrenzung ausgebremst werden würden. Da die Ergebnisse unabhängig von der Kennzeichnung des Fahrzeugs waren, ist allerdings eher zu vermuten, dass dies eine generelle Neigung von Fahrern ist, egal ob sich es mit langsamen menschlichen oder

hochautomatisierten Fahrzeugen zu tun haben. Die Interaktion mit hochautomatisierten Fahrzeugen beim Einfädeln und Spurwechsel erscheint vom Verhalten und den Reaktionen der menschlichen Fahrer her als insgesamt nicht gefährlich. Allerdings scheinen menschliche Fahrer nicht damit zu rechnen, dass die hochautomatisierten Fahrzeuge so exakt die Geschwindigkeitsbegrenzungen einhalten, sodass zumindest kurzfristig sehr kleine Sekundenabstände auftreten. Dies betrifft vermutlich das sehr frühzeitige Verringern der Geschwindigkeit und das exakte Einhalten der Geschwindigkeit. Sind menschliche Fahrer in einer solchen Situation unaufmerksam oder abgelenkt, könnte es durchaus zu Auffahrunfällen kommen. Im Rahmen der Studie wurde dies allerdings nicht nachgewiesen.

5.5.4 Ist eine Kennzeichnung hochautomatisierter Fahrzeuge zu empfehlen?

In der Studie wurden drei Varianten untersucht: Die erste Gruppe von Fahrern erhielt die Information, dass teils hochautomatisierte Fahrzeuge, teils menschliche Fahrer in den Situationen fahren. Die Fahrzeuge waren aber nicht gekennzeichnet. In der zweiten Gruppe war eine eindeutige Kennzeichnung vorhanden, sodass die Zuordnung wesentlich einfacher sein sollte. In der dritten Gruppe waren menschliche Fahrer als hochautomatisierte Fahrzeuge gekennzeichnet und umgekehrt hochautomatisierte Fahrzeuge als menschlich. Nach jeder Fahrsituation wurden die Fahrer gefragt, inwieweit sie das Verhalten des Zielfahrzeugs als eher automatisiert oder eher menschlich beurteilen würden.

Insgesamt veränderte die zutreffende Kennzeichnung die Beurteilung des Verhaltens nur sehr wenig. Mit und ohne Kennzeichnung wurde das Verhalten meist richtig zugeordnet. Das mag dadurch begründet sein, dass das Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge sich relativ deutlich von dem typischen menschlichen Verhalten in diesen Situationen unterscheidet (s. Kapitel 5.5.1), auch wenn es wohl noch innerhalb der Bandbreite akzeptablen menschlichen Verhaltens liegt. Interessant ist allerdings, dass die Zuordnung dann schlechter wird, wenn die Kennzeichnung falsch ist und damit scheinbar menschlich gesteuerte Fahrzeuge sich wie automatisierte Fahrzeuge verhalten und umgekehrt. Dies führt zu folgender Empfehlung:

Eine Kennzeichnung von hochautomatisierten Fahrzeugen als solche ist nicht zu empfehlen. Vielmehr muss deutlich gemacht werden, ob diese Fahrzeuge aktuell hochautomatisiert fahren oder gerade von einem menschlichen Fahrer gefahren werden. Zumindest in der Folgefahrt bei Geschwindigkeitsbegrenzung deutet sich an, dass menschliche Fahrer anscheinend von der frühzeitigen Anpassung der Geschwindigkeit an die Begrenzung und durch das exakte Einhalten dieser Geschwindigkeit so überrascht werden, dass sehr geringe minimale Sekundenabstände auftreten, die bei Ablenkung oder Unaufmerksamkeit des Fahrers möglicherweise zu gefährlichen Situationen führen könnten. Eine Kennzeichnung, dass aktuell im hochautomatisierten Modus gefahren wird, könnte diesen Überraschungseffekt vermeiden. Möglich wäre hier auch eine auffälliger Anzeige nach hinten, dass das Fahrzeug die Geschwindigkeit frühzeitig und exakt anpassen wird. Eine Kennzeichnung, dass aktuell im hochautomatisierten Modus gefahren wird, ist gerade in Situationen sinnvoll, in denen sich hochautomatisierte Fahrzeuge ungewohnt defensiv verhalten und dadurch sehr enge Abstände entstehen, die sicherheitsrelevant sein könnten. Dies könnte in Zukunft noch wichtiger werden, wenn z.B. hochautomatisierte Fahrzeuge in komplexeren Situationen unterwegs sind, wo ein noch deutlich stärker ausgeprägtes defensives Verhalten angemessen erscheint, z.B. in der Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern.

5.6 Methodische Bewertung

Im Folgenden werden Grenzen der Studie unter methodischen Gesichtspunkten diskutiert.

5.6.1 Stichprobe

Die Stichprobe in dieser Studie ist bezüglich des Geschlechterverhältnisses (43 % Frauen, 57 % Männer) im untersuchten Altersbereich von 18 Jahren bis 75 Jahren im Vergleich zum aktuellen Bestand der Fahrerlaubnisse in Deutschland repräsentativ (Kraftfahrtbundesamt, 2019a). Hinsichtlich der Altersverteilung ergeben sich leichte Abweichung zum aktuellen Bestand der Fahrerlaubnisse in Deutschland (Kraftfahrtbundesamt, 2019a). Die Altersgruppe zwischen 18 und 24 Jahren ist überrepräsentiert (31 % gegenüber 12 %), wohingegen die Altersgruppe zwischen 25

und 44 Jahren durch die rekrutierte Stichprobe gut abgedeckt wird (39 % gegenüber 41 %). Die Altersgruppen zwischen 45 und 64 Jahren (26 % gegenüber 35 %) sowie die Altersgruppe zwischen 65 und 75 Jahren (4 % gegenüber 11 %) sind jeweils in der Stichprobe unterrepräsentiert. Bisherige Studien zeigten, dass jüngere Menschen positiver gegenüber Automatisierung eingestellt sind als ältere Menschen (Nielsen & Haustein, 2018). Jedoch ist unklar, ob und in welchem Ausmaß sich diese Unterschiede zwischen Altersgruppen auch in der spontanen Reaktion auf hochautomatisiertes Fahren, wie in dieser Studie untersucht, manifestiert. Möglich ist, dass Menschen den erlebten Erstkontakt mit automatisierten Fahrzeugen anders bewerten als basierend auf der eigenen Vorstellung in Rahmen von Fragebogenstudien prognostiziert.

Weiterhin ist festzustellen, dass die untersuchte Stichprobe bereits vor der Simulatorfahrt eher positiv gegenüber automatisierten Fahrzeugen eingestellt war. Es ist daher nicht ausgeschlossen, dass dieses die Bewertungen des Zielfahrzeugverhaltens beeinflusst haben könnte. Es ist jedoch unklar, ob und in welchem Ausmaß eine negativere Grundstimmung der Probanden die Bewertung des automatisierten Zielfahrzeugverhaltens verändert hätte.

5.6.2 Versuchsbedingungen und Fahrsituation

Das Auswahlkriterium für die im Rahmen dieser Studie untersuchten Fahrsituationen war, dass diese voraussichtlich selbstständig von einem hochautomatisierten Level 3 Fahrzeug der ersten Generation bewältigt werden können – ohne, dass der Mensch im Innern des Fahrzeugs eingreifen muss. Die Einschätzung, welche Fahrsituationen von automatisierten Fahrzeugen selbstständig gemeistert werden können, basiert auf strukturierten Interviews mit Experten aus der Automobilindustrie und der universitären Forschung. Aus den Experteninterviews ging hervor, dass automatisiertes Fahren zunächst auf wenige Fahrsituationen auf ausgewählten Autobahnabschnitten selbstständig beschränkt sein wird, z.B. Fahrstreifenwechselsituationen (S01-S03, S05) und Geschwindigkeitsanpassungen (S04). Aus diesem Grund fiel die Untersuchung einer ganzen Reihe von häufig vorkommenden Fahrsituationen weg, wie z.B. von Baustellen oder Autobahnkreuzen. Eine vollständige Untersuchung aller möglichen Fahrsituationen auf der Autobahn war jedoch nicht das Ziel der Studie. Vielmehr sollte im Rahmen dieser Studie eine Auswahl an Fahrsituationen untersucht

werden, welche die typischen Fahrverhaltensweisen automatisierter Fahrzeuge im Mischverkehr innerhalb der Systemgrenzen eines Level 3 Systems zeigen. Die ausgewählten Fahrsituationen decken zwei Arten von Interaktionen im Mischverkehr ab. Bei der ersten Art der Interaktion reagiert ein automatisiertes Fahrzeug bzw. ein menschlicher Fahrer auf das Fahrverhalten des Probanden im vorausfahrenden Ego-Fahrzeug (S01, S02). In den letzten drei Fahrsituationen (S03, S04, S05) ist es der Proband im Ego-Fahrzeug, der auf das Fahrverhalten des vorausfahrenden automatisierten Fahrzeugs bzw. des vorausfahrenden menschlichen Fahrers reagiert. Unterschiede zwischen den beiden Interaktionsarten zeigen sich vor allem in der Fahrdatenanalyse. Mit der Erweiterung der Situationen, die durch hochautomatisierte Fahrzeuge bewältigt werden können, werden sich zusätzliche Interaktionen mit menschlichen Fahrern ergeben, die in zukünftigen Forschungsprojekten in einer ähnliche Weise wie hier möglichst frühzeitig untersucht werden sollten, um Hinweise auf möglicherweise gefährliche Situationen bereits vor der Einführung dieser Funktionen zu erhalten.

Das Fahrverhalten der automatisierten Fahrfunktion (Verzögerung, Beschleunigung, Geschwindigkeit) sind der vermuteten Funktionsweise automatisierter Fahrzeuge bei der Einführung auf der Autobahn nachempfunden. Aus den Experteninterviews ging hervor, dass automatisiertes Fahrverhalten innerhalb der gesetzlichen Rahmenbedingungen möglicherweise herstellerspezifische Unterschiede aufweisen wird. Ebenso weisen menschliche Fahrer eine große Bandbreite an unterschiedliche Verhaltensweisen, welche sich in verschiedenen Fahrstilen ausdrückt, auf (vgl. Taubman-Ben-Ari et al., 2004). Dementsprechend wurden in dieser Studie jeweils zwei Varianten menschlichen und automatisierten Fahrverhaltens umgesetzt, um eine gewisse Bandbreite an unterschiedlichen Verhaltensausrägungen zu zeigen. Es war jedoch nicht möglich, die gesamte Bandbreite menschlichen und automatisierten Fahrverhaltens in Vollständigkeit abzubilden. Das war aber auch nicht das Ziel der Studie. Vielmehr lag der Fokus dieser Studie auf der Forschungsfrage, ob Unterschiede im Fahrverhalten anderer Fahrzeuge für menschliche Fahrer im Mischverkehr aus ihrer Außenperspektive überhaupt erkennbar sind, wie diese bewertet werden und ob menschliche Fahrer ihr eigenes Fahrverhalten als Reaktion auf hochautomatisiertes Fahren anpassen. Weiterhin ist möglich, dass sich das tatsächliche Fahrverhalten eines hochautomatisierten Fahrzeugs von dem in der Fahrsimulatorstudie implementierten Fahrparametern unterscheiden wird. Es handelt

sich bei den verwendeten Fahrparametern in dieser Studie dementsprechend um eine Annäherung an automatisiertes und menschliches Fahrverhalten. Wenn die Auslegung hochautomatisierten Verhaltens in Zukunft anders ausfallen wird, erscheinen zusätzliche Untersuchungen dieses anderen Verhaltens als sinnvoll.

Da die vorliegende Studie den Erstkontakt menschlicher Fahrer mit hochautomatisierten Fahrzeugen untersuchte, verfügten die Probanden vor der Simulatorfahrt weder über Erfahrungen mit hochautomatisierten Fahrzeugen noch mit dem Fahren im Mischverkehr. Aus diesem Grund hatten die Probanden möglicherweise individuell unterschiedliche Erwartungen an das Fahrverhalten automatisierter Fahrzeuge, welche die Reaktion auf automatisiertes Fahren in der Simulatorfahrt möglicherweise beeinflusst haben könnte. Es bleibt jedoch unklar, wie stark der Einfluss von Erwartungshaltungen auf das Erleben und Verhalten menschlicher Fahrer im Mischverkehr tatsächlich waren. Dennoch wurde darauf verzichtet, im Vorfeld der Simulatorfahrten Wissen über automatisiertes Fahrverhalten zu vermitteln, da menschliche Fahrer bei der Einführung dieser Systeme im öffentlichen Straßenverkehr vermutlich ebenso unterschiedliche Erwartungen an das Fahrverhalten dieser Fahrzeuge haben werden. Insofern entspricht diese Vorgehensweise der realistischen Situation bei den ersten Kontakten menschlicher Fahrer mit Mischverkehr im realen Straßenverkehr.

Der jeweilige Aufbau und Ablauf der Fahrsituationen wurde den Probanden vorab genau instruiert. Den Probanden wurden sowohl das auszuführende Fahrmanöver, als auch eine Zielgeschwindigkeit für das Fahrszenario vorgegeben, um auf diese Weise eine Vergleichbarkeit der Fahrsituationen zwischen den Probanden herzustellen und um die Aufmerksamkeit der Probanden auf die genaue Beobachtung des Zielfahrzeugverhaltens in der Fahrsituation zu lenken. Jedoch hatten die Probanden die Möglichkeit, ein Fahrmanöver nicht auszuführen, wenn ihnen dieses als zu gefährlich erschien. Beispielsweise wechselten vier Probanden vor Zielfahrzeugen in der Situation des Auffahrens auf die Autobahn (S01) nicht auf den rechten Fahrstreifen, da sie das Fahrmanöver als zu gefährlich bewerteten. Die Probanden fürchteten, beim Fahrstreifenwechsel vor dem beschleunigenden Zielfahrzeug der Variante Menschlich 2 mit dem Zielfahrzeug zu kollidieren. Ob die Probanden das vorgegebene Fahrmanöver in dieser Fahrsituation auch ohne Instruktion durchgeführt hätten, stand nicht im Fokus der Studie und wurde nicht erhoben. Ebenso wurde nicht erfragt, ob Probanden das Fahrmanöver so in einer vergleichbaren Fahrsituation im

Realverkehr durchgeführt hätten. Durch die Instruktion der Fahrsituation inklusive Fahrmanöver und Zielgeschwindigkeit war das Fahrverhalten der Probanden in den Fahrsituationen weniger natürlich. Dies war allerdings notwendig, um durch diese Instruktion sicherzustellen, dass die Probanden ähnliche Interaktionen in den Fahrsituationen erlebten. Diese Standardisierung des Fahrverhaltens schafft somit eine bessere Vergleichbarkeit der erlebten Interaktionen zwischen den Probanden innerhalb einer Fahrsituation.

5.7 Weiterer Forschungsbedarf

Der Fokus der vorliegenden Fahrsimulatorstudie lag auf der Untersuchung der Reaktion menschlicher Fahrer auf hochautomatisiertes Fahren im Erstkontakt mit diesen Fahrzeugen auf der Autobahn. In den ausgewählten Fahrszenarien begegneten die Probanden ausschließlich *einem* manuell gesteuerten oder *einem* hochautomatisierten Zielfahrzeug, wobei die Interaktionen mit einer bis drei Minuten pro Zielfahrzeugvariante eher kurz waren. Unklar bleibt damit, wie sich das Erleben und Verhalten menschlicher Fahrer als Reaktion auf hochautomatisiertes Fahren über den Erstkontakt hinaus verändert, also, wenn mehr automatisierte Fahrzeuge unterwegs sein werden und wenn man diesen immer wieder begegnet.

Bislang ist jedoch völlig unklar, wie sich die zukünftige Durchdringung hochautomatisierter Fahrzeuge auf der Autobahn entwickeln wird. Bisherige Schätzungen der sich entwickelnden Durchdringung hochautomatisierter Systeme im Mischverkehr fallen sehr unterschiedlich aus (vgl. Bansal & Kockelman, 2017; vgl. Litman, 2015). Zu den Auswirkungen einer höheren Durchdringung automatisierter Fahrzeuge auf der Autobahn auf das Erleben und Verhalten menschliche Fahrer im Mischverkehr liegen praktisch keine Ergebnisse vor. Möglich sind einerseits positive Effekte im Sinne einer Verhaltensanpassung menschlicher Fahrer aufgrund des regelkonformen, defensiven Fahrverhaltens automatisierter Fahrzeuge. Dies könnte dazu führen, dass auch menschliche Fahrer sich besser an Geschwindigkeitsbegrenzungen halten und defensiver fahren (Vorbildfunktion, Lernen am Modell). Andererseits sind negative Effekte denkbar, etwa, wenn menschliche Fahrer automatisierte Fahrzeuge als Verkehrshindernisse wahrnehmen, sodass kleine Abstände gehalten werden oder aggressives Verhalten auftaucht.

Weitere Forschung zu diesem Themenkomplex sollte somit die Reaktion und Verhaltensanpassungen menschlicher Fahrer über diesen Erstkontakt hinaus untersuchen. Dazu ist es notwendig, dass Probanden während einer längeren Autobahnfahrt häufiger mit automatisierten Fahrzeugen interagieren, sodass sich mögliche Gewöhnungs- und Lerneffekte manifestieren. Probanden lernen über die Zeit hinweg zunehmend, wie sich automatisierte Fahrzeuge im Mischverkehr verhalten. Aus den Lernerfahrungen über das Verhalten automatisierter Fahrzeuge können menschliche Fahrer Vorhersagen über deren zukünftiges Fahrverhalten treffen. Aus bisheriger Forschung ist bekannt, dass die Erwartungen menschlicher Fahrer an das Fahrverhalten anderer Fahrer auf Erfahrungen aus vergangenen, ähnlichen Verkehrssituationen basiert (Chauvin & Saad, 2000). Einen Beitrag zu diesem Themenkomplex liefert Studie 2, die im Folgenden dargestellt wird.

6 Studie 2: Reaktion auf und Verhaltensanpassung an hochautomatisiertes Fahrverhalten in Abhängigkeit von der Durchdringungsrate

6.1 Hintergrund und Fragestellung

Erleben einzelner typischer Interaktionssituationen wie in der ersten Studie im Vordergrund, sondern das Erleben einer Autobahnfahrt, bei der unterschiedlich viele hochautomatisierte Fahrzeuge unterwegs sind (Durchdringungsrate).

In dieser Studie absolvierten Fahrer vier längere Fahrtabschnitte mit Mischverkehr auf der Autobahn. Jeder Fahrtabschnitt hatte einen anderen Anteil an hochautomatisierten Fahrzeugen: 0 %, 25 %, 50 % und 75 % Durchdringungsrate. Dieses Vorgehen ermöglichte es, die zeitliche Entwicklung der Durchdringungsrate von hochautomatisierten Fahrzeugen nach der Einführung in den öffentlichen Straßenverkehr im Zeitraffer nachzuvollziehen. Ähnlich wie in der ersten Studie wurde die Anzeige des hochautomatisierten Fahrmodus mittels einer Außenkennzeichnung (eHMI) variiert (vorhanden vs. nicht vorhanden). Dabei entspricht eine vorhandene Kennzeichnung dem aktuellen Fahrmodus eines Fahrzeugs, d.h. Fahrzeuge im automatisierten Fahrmodus hatten eine Außenkennzeichnung während manuell gesteuerte Fahrzeuge nicht gekennzeichnet waren. Der Vergleich der beiden Gruppen ermöglicht die Untersuchung, inwieweit Verhaltensänderungen durch ein anderes

Verhalten der hochautomatisierten Fahrzeuge ausgelöst werden bzw. eher Erwartungen oder Einstellungen eine solche Reaktion auslösen. Da die Fahrer der Gruppe ohne Anzeige wussten, dass hochautomatisierte Fahrzeuge unterwegs waren, könnte allerdings auch dieses Wissen wirksam werden. Deshalb wurde eine weitere Kontrollgruppe eingeführt, die nicht über den Mischverkehr auf den Autobahnabschnitten informiert war. Ergeben sich auch hier Verhaltensänderungen, kann es nur durch das unterschiedliche Verhalten der hochautomatisierten Fahrzeuge ausgelöst worden sein.

Auf Basis dieser Überlegungen ergibt sich die folgende zentrale Fragestellung bezüglich der Begegnung menschlicher Fahrer mit hochautomatisierten Fahrzeugen und anderen manuellen Fahrzeugen im Mischverkehr auf der Autobahn:

- Wie wirkt sich hochautomatisiertes Fahren auf das Erleben und das Fahrverhalten menschlicher Fahrer in Abhängigkeit von der Durchdringungsrate aus?

Aktuell ist völlig unklar, wie menschliche Fahrer auf die zunehmende Durchdringungsrate hochautomatisierter Fahrzeuge im Mischverkehr reagieren werden. Vom Erleben der menschlichen Fahrer her wäre es möglich, dass sich diese aufgrund des defensiven Fahrverhaltens automatisierter Fahrzeuge bei steigender Durchdringungsrate dieser Fahrzeuge zunehmend sicherer im Umgang mit diesen Fahrzeugen und dem Fahren im Mischverkehr fühlen. Dann könnte das Fahren im Mischverkehr für menschliche Fahrer insgesamt angenehmer werden. Andererseits könnten menschliche Fahrer durch das Fahrverhalten zunächst verunsichert werden, und sich erst bei einem hohen Durchsatz daran gewöhnen. In diesem Fall könnte die zunehmende Durchdringungsrate erst negativer bewertet werden, dann bei höherer Rate wieder positiver.

Auf der Verhaltensebene sind ebenso positive wie negative Effekte der zunehmenden Durchdringungsrate denkbar. Einerseits könnte sich das regelkonforme Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge positiv im Sinne einer Vorbildfunktion auf menschliche Fahrer auswirken und dazu führen, dass diese ihr Fahrverhalten an automatisiertes Fahren anpassen und selbst langsamer fahren bzw. ihrerseits größere Sicherheitsabstände einhalten (Lernen am Modell). Andererseits könnten menschliche Fahrer vorausfahrende hochautomatisierte Fahrzeuge als Verkehrshindernisse wahrnehmen, welche sie daran hindern, ihr Fahrtziel möglichst schnell zu erreichen. Diese Wahrnehmung könnte menschliche Fahrer dazu führen, dass riskantes

Fahrverhalten gezeigt wird wie z.B. Drängeln oder dichtes Einscheren vor einem hochautomatisierten Fahrzeug. Dieses Verhalten könnte durch eine Außenkennzeichnung des aktuellen Fahrmodus noch verstärkt werden, da automatisierte Fahrzeuge mittels Kennzeichnung als solche einfach zu erkennen sind.

6.2 Methodik

6.2.1 Versuchsplan

Um die Auswirkungen hochautomatisierter Fahrzeuge auf das Erleben und Verhalten menschlicher Fahrer im Mischverkehr auf der Autobahn über den Erstkontakt hinaus zu untersuchen, wurden zwei Einflussgrößen variiert. Die erste Einflussgröße (Zwischensubjektfaktor) war die Kennzeichnung hochautomatisierter Fahrzeuge, welche drei Ausprägungen hatte: „Mit Kennzeichnung“, „ohne Kennzeichnung“ und „Kontrollgruppe ohne Information“. Probanden in der Gruppe ohne Kennzeichnung wurden instruiert, dass sie während der Versuchsfahrt hochautomatisierten Fahrzeugen im Mischverkehr begegnen werden, diese aber äußerlich nicht von manuellen Fahrzeugen unterscheiden könnten. Probanden in der Gruppe mit Kennzeichnung wurden instruiert, dass Fahrzeuge im hochautomatisierten Fahrmodus nach außen sichtbar gekennzeichnet sind. Für die Kennzeichnung wurde analog zur ersten Studie ein blaues Lichtrechteck unter dem Fahrzeug verwendet (siehe Abbildung 2). In der Kontrollgruppe wussten die Probanden nicht, dass neben menschlichen Fahrern auch hochautomatisierte Fahrzeuge auf der Autobahn unterwegs sein werden. Deshalb gab es in dieser Gruppe auch keine Kennzeichnung der hochautomatisierten Fahrzeuge. Die Probanden wurden vor der Fahr Simulatorfahrt einer der drei Versuchsgruppen zufällig zugeordnet.

Als zweite Einflussgröße wurde die Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge in vier Ausprägungen in vier Fahrtabschnitten variiert (0 % / 25 % / 50 % / 75 % Durchdringungsrate). Alle Probanden absolvierten alle vier Fahrtabschnitte (Innersubjektfaktor). Die Probanden erlebten die Fahrtabschnitte in randomisierter Reihenfolge, um systematische Reihenfolgeeffekte zu kontrollieren.

Aus diesen zwei Einflussgrößen oder unabhängigen Variablen ergab sich ein 2-faktorieller Versuchsplan mit dem Innersubjektfaktor Durchdringungsrate

hochautomatisierter Fahrzeuge und dem Zwischensubjektfaktor Kennzeichnung, der in Tabelle 9 zusammenfassend dargestellt ist.

Tabelle 9: Versuchsplan der zweiten Studie mit den Faktoren Kennzeichnung und Durchdringungsrate.

		Faktor B: Durchdringungsrate			
		0% Hochautomatisierte Fahrzeuge	25% Hochautomatisierte Fahrzeuge	50% Hochautomatisierte Fahrzeuge	75% Hochautomatisierte Fahrzeuge
Faktor A: Kennzeichnung	Mit Kennzeichnung	VP 1 - 17	VP 1 - 17	VP 1 - 17	VP 1 - 17
	Ohne Kennzeichnung	VP 18 - 34	VP 18 - 34	VP 18 - 34	VP 18 - 34
	Kontrollgruppe	VP 34 - 51	VP 34 - 51	VP 34 - 51	VP 34 - 51

6.2.2 Aufbau der Autobahnabschnitte

Auf einer Autobahn mit zwei Fahrstreifen für jede Fahrtrichtung absolvierten die Probanden vier Autobahnabschnitte von jeweils 35 km Länge. In Abhängigkeit des Fahrstils der Probanden dauerten die Fahrten circa 20 bis 25 Minuten pro Autobahnabschnitt. Die Autobahnabschnitte waren hinsichtlich ihres Aufbaus identisch (Infrastruktur, Streckenführung, Geschwindigkeitsbeschränkungen). Grundsätzlich galt auf allen Fahrtabschnitten eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h, wobei in einigen Bereichen Tempolimits mit geringeren Geschwindigkeiten galten (siehe Tabelle 10). Die Tempolimits wurden mit entsprechenden Schildern eingeführt. Um die Auftretenswahrscheinlichkeit von Simulatorübelkeit während der Versuchsfahrten zu reduzieren, war die Geschwindigkeit des Egofahrzeugs auf maximal 150 km/h begrenzt.

Tabelle 10: Bereiche mit Geschwindigkeitsbegrenzungen auf den vier Fahrtabschnitten.

Teilabschnitt	Distanz	Tempolimit
1	0 m – 5000 m	130 km/h
2	5000 m – 5500 m	80 km/h
3	5500 m – 10000 m	130 km/h
4	10000 m – 10500 m	100 km/h
5	10500 m – 20000 m	130 km/h
6	20000 m – 20500 m	80 km/h
7	20500 m – 30000 m	130 km/h
8	30000 m – 30500 m	100 km/h
9	30500 m – 34500 m	130 km/h
10	34500 m – 35000 m	80 km/h

Als Basis für den Aufbau der Fahrtabschnitte dienten die Aussagen der interviewten Experten (siehe Kapitel 4: Experteninterviews) und die Fahrsituationen aus der vorangegangenen Studie zum Erstkontakt mit automatisierten Fahrzeugen (siehe Tabelle 2). Dementsprechend gab es auf den Fahrtabschnitten keine baulichen Besonderheiten wie Baustellen, Autobahnkreuze oder fehlende Fahrbahnmarkierungen. Ebenso wurden keine extremen Wetterbedingungen, z.B. Schnee, Nebel oder Starkregen, in die Untersuchung einbezogen. Entsprechend kamen auf den Fahrtabschnitten nur Interaktionen im Mischverkehr zustande, welche von hochautomatisierten Fahrzeugen ohne eine Übernahme der Fahraufgabe durch den menschlichen Fahrer gemeistert werden konnten.

Das Fahrverhalten der automatisierten Fahrzeuge und menschlichen Fahrer im Mischverkehr wurde in Anlehnung an Aussagen der befragten Expertinnen analog zur ersten Studie ausgelegt (vgl. Tabelle 2). Das Fahrverhalten wurde mittels eines Verhaltensmodells (WIVW, 2017), welches auf dem Fahrzeugfolgemodell von Wiedemann (1974) und dem Spurwechselmodell MOBIL basiert, im Fahrsimulator umgesetzt. Dieses Verhaltensmodell erlaubt die Implementierung eines realistischen Fahrzeugverhaltens sowohl in einer Folgefahrt als auch beim Fahrstreifenwechsel. In der Folgefahrt versuchen simulierte Fahrzeuge, eine vordefinierte Zielgeschwindigkeit unter Berücksichtigung vordefinierter Mindestabstände zu vorausfahrenden Fahrzeugen einzuhalten (WIVW, 2017). Das Spurwechselmodell erlaubt den selbstständigen Fahrstreifenwechsel simulierter Fahrzeuge in Abhängigkeit voreingestellter Parameter. Eine detaillierte Beschreibung des Modells findet sich in WIVW (2017).

Auf Teilabschnitten mit einem Tempolimit von 130 km/h lag die voreingestellte Zielgeschwindigkeit simulierter hochautomatisierter Fahrzeuge bei 100 km/h bzw. 110 km/h. Auf Teilabschnitten mit niedrigeren Tempolimits von 100 km/h bzw. 80 km/h entsprach die Zielgeschwindigkeit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Nach der Aufhebung einer Geschwindigkeitsbegrenzung beschleunigten die hochautomatisierten Fahrzeuge erst nach dem Passieren des zugehörigen Schildes. Demgegenüber hielten sich manuell gesteuerte Fahrzeuge nicht zu jeder Zeit an die zulässige Höchstgeschwindigkeit. Die voreingestellte Zielgeschwindigkeit simulierter manueller Fahrzeuge lag bei 130 km/h auf allen Teilabschnitten. Bei Einführung von Geschwindigkeitsbegrenzungen hielten sich entsprechend einige menschliche Fahrer nicht exakt an die zulässige Höchstgeschwindigkeit, bzw. sie bremsen erst auf der Höhe des zugehörigen Schildes ab. Bei den voreingestellten Zielgeschwindigkeiten im Verhaltensmodell ist zusätzlich zu beachten, dass diese in der Interaktion abhängig vom Verhalten des Ego-Fahrers schwanken. Die Zielgeschwindigkeit simulierter Fahrzeuge wird maßgeblich durch die voreingestellten minimalen Sekundenabstände zu vorausfahrenden Fahrzeugen bestimmt. Dieser lag bei mindestens 2.75 s Sekundenabstand für hochautomatisierte Fahrzeuge und bei mindestens 1.2 s Sekundenabstand für menschliche Fahrer. Weiterhin unterschieden sich die simulierten Fahrzeuge hinsichtlich der Spurmittenführung innerhalb ihres eigenen Fahrstreifens. Die Spurmittenführung der hochautomatisierten Fahrzeuge war mittig und ohne laterale Abweichungen von der Fahrstreifenmitte ausgelegt, wohingegen die Spurmittenführung manueller Fahrzeuge analog zu menschlichem Fahrverhalten Schwankungen von bis zu einem Meter nach rechts und links von der Fahrstreifenmitte unterlag.

Die automatisierten und manuellen Fahrzeuge wurde mittels Fahrzeugquellen vor und hinter dem Ego-Fahrzeug über die gesamte Strecke hinweg aufgesetzt, sodass sich ein möglichst natürlicher Verkehrsfluss um das Ego-Fahrzeug herum ergab. Zusätzlich fahren auf jedem Autobahnabschnitt acht langsame Lkws (80 km/h), welche die Probanden im Ego-Fahrzeug zu Überholvorgängen motivieren sollten. Weiterhin wurden die Probanden instruiert, möglichst so zu fahren, wie sie es im eigenen Fahrzeug auf der Autobahn tun würden. Im Gegensatz zur ersten Studie wurden in der aktuellen Studie keine Instruktionen hinsichtlich einzuhaltender Sicherheitsabstände oder Geschwindigkeiten auf den Autobahnabschnitten gegeben. Auf diese Weise

wurde sichergestellt, dass die Probanden im Ego-Fahrzeug möglichst „natürlich“ mit den umgebenden Fahrzeugen im Mischverkehr interagierten.

6.2.3 Durchführung

Nach der Begrüßung durch die Versuchsleiterin gaben die Probanden ihr Einverständnis zur wissenschaftlichen Nutzung der Daten. Anschließend beantworteten die Probanden den soziodemographischen Fragebogen, welcher Fragen zum Mobilitätsverhalten, zur Erfahrung mit Fahrassistenzsystemen, zur Technikaffinität und zum Kenntnisstand sowie zur Einstellung zum Thema Automatisiertes Fahren beinhaltete. Danach wurden die Probanden zufällig in eine der drei Versuchsgruppen gelost.

Im ersten Versuchsteil wurden die Probanden in den beiden Versuchsgruppen mit bzw. ohne Kennzeichnung über den Mischverkehr mit Hilfe von Definitionen und detaillierten Erklärungen über die Fähigkeiten und Grenzen hochautomatisierter Level 3 (SAE, 2018) Fahrzeuge informiert. Die Informationsphase diente dazu, dass die Probanden bereits vor der Fahrt Vorwissen über automatisiertes Fahrverhalten in typischen Fahrsituationen auf der Autobahn aufbauen konnten. Da das Ziel dieser Studie war, die Begegnungen menschlicher Fahrer mit hochautomatisierten Fahrzeuge über den Erstkontakt hinaus zu untersuchen, war diese Informationsphase unerlässlich. Um das Fahrverhalten hochautomatisierter Fahrzeuge anschaulich zu demonstrieren, wurden zusätzlich Videos auf einem Tablet gezeigt. Das Videomaterial stammte aus der ersten Studie und demonstrierte hochautomatisiertes Fahrverhalten beim Überholvorgang (S03), beim Einhalten des Mindestsicherheitsabstands zu vorausfahrenden Fahrzeugen (S02) und dem Abbremsen bei Einführung einer Geschwindigkeitsbeschränkung (S04; vgl. zusammenfassend Tabelle 2). Die automatisierten Fahrzeuge waren in der Versuchsgruppe mit Kennzeichnung entsprechend mit dem blauen Lichtrechteck gekennzeichnet (siehe Abbildung 2). In der Kontrollgruppe wurde diese Informationsphase nicht durchgeführt.

Auf die Informationsphase folgte eine 5-minütige Trainingsfahrt auf der Autobahn zur Gewöhnung an das Fahren im Fahrsimulator, welche in der Kontrollgruppe bereits unmittelbar nach dem Ausfüllen des soziodemographischen Fragebogens erfolgte. Die Studie wurde ebenfalls im statischen Fahrsimulator an der TU Braunschweig (siehe Kapitel 5.2.2 Durchführung) durchgeführt.

Nach der Trainingsfahrt wurden die Probanden in der Versuchsgruppe mit Kennzeichnung mit der Funktion der Kennzeichnung im Versuch vertraut gemacht (siehe Abbildung 2). In der Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung waren die hochautomatisierten Fahrzeuge äußerlich nicht von den manuellen Fahrzeugen im Mischverkehr zu unterscheiden. Probanden in dieser Versuchsgruppe wussten lediglich, dass im Versuch hochautomatisierte Fahrzeuge unterwegs waren, aber nicht, welche Fahrzeuge hochautomatisiert waren. Probanden in der Kontrollgruppe wurden instruiert, dass es in der Studie um die Auswirkungen des Verkehrsflusses auf die Wahrnehmung von Verkehrssituationen auf der Autobahn ging. Somit wurden die Probanden in der Kontrollgruppe getäuscht. Diese Täuschung wurde unmittelbar im Anschluss an die letzte Simulatorfahrt aufgeklärt.

Für die Simulatorfahrten wurden alle Probanden unabhängig von ihrer Versuchsgruppe instruiert, dass sie möglichst so fahren sollen, wie sie es in der Realität in ihrem eigenen Pkw auch tun würden. Die Probanden sollten jedes Fahrmanöver absichern und Kollisionen mit anderen Fahrzeugen vermeiden. Es wurden keine spezifischen Instruktionen hinsichtlich der einzuhaltenden Geschwindigkeit auf den Fahrtabschnitten gegeben, um ein möglichst natürliches Fahrverhalten zu ermöglichen.

Die vollständigen Instruktionen der Probanden befinden sich in Anhang C. Im Anschluss an jeden Fahrtabschnitt beantworteten die Probanden einen Fragebogen, welcher eine Bewertung der Fahrt auf dem vorangegangenen Fahrtabschnitt sowie Fragen zum Fahrverhalten der manuellen und automatisierten Fahrzeuge beinhaltete. Darüber hinaus sollten die Probanden in den beiden Versuchsgruppen mit Wissen eine Einschätzung abgeben, wie viel Prozent der anderen Fahrzeuge auf dem vorherigen Fahrtabschnitt automatisiert waren.

Jeder Fahrtabschnitt dauerte circa 20 bis 25 Minuten. Insgesamt absolvierten die Probanden alle vier Fahrtabschnitte in randomisierter Reihenfolge, um systematische Reihenfolgeeffekte zu vermeiden. Die gesamte Fahrsimulatorfahrt dauerte circa 80 bis 100 Minuten und wurde mittels einer Videokamera (GoPro Hero 3+) aufgezeichnet, welche vom Dashboard aus die Leinwand filmte.

6.2.4 Messung der abhängigen Variablen

In der Fahrsimulatorstudie wurden sowohl subjektive Bewertungen der Fahrten auf den Autobahnabschnitten sowie Fahrdaten aufgezeichnet und analysiert.

6.2.4.1 Fragebogendaten

Nach jedem Autobahnabschnitt bewerteten die Probanden die vorangegangene Fahrt. Tabelle 11 zeigt die Fragen und die verwendeten Antwortskalen im Überblick. Für die Gesamtbewertung der Situation wurde die in Abbildung 4 dargestellte Skala verwendet, die sich an der Skala zur Bewertung der Kritikalität von Fahr- und Verkehrssituationen von Neukum et al. (2009) anlehnt. Die vollständigen Fragebögen sind in Anhang C zu finden.

Tabelle 11: Überblick über die abgefragten Dimensionen und die Skala für die Befragung nach jedem Autobahnabschnitt.

Dimension	Skala	
Bewertung der Autobahnabschnitte		
Gesamtbewertung Autobahnabschnitt	harmlos	nicht akzeptabel
angenehm	sehr wenig	sehr viel
anstrengend	sehr wenig	sehr viel
gut vorangekommen	sehr wenig	sehr viel
Anteil automatisierter Fahrzeuge (%)*	0%	100%
Fahrverhalten der Fahrzeuge		
Unterschiede zwischen menschlichen Fahrern und automatisierten Fahrzeugen*	Ja	Nein
Beschreibung der Unterschiede	Freies Antwortfeld	

* Diese Frage wurde nur in den Versuchsgruppen mit vorheriger Informationsphase gestellt.

6.2.4.2 Fahrdaten

Für die gesamte Simulatorfahrt wurden die Positionen aller Fahrzeuge aufgezeichnet. Daraus wurden für jeden der zehn Teilabschnitte einer Simulatorfahrt die mittleren und minimalen Sekundenabstände des Ego-Fahrzeugs zu vorausfahrenden Fahrzeugen in der Annäherung bzw. Fahrfahrt als Indikatoren für die Kritikalität von Interaktionssituationen im Mischverkehr errechnet. Dabei wurden nur Situationen eingeschlossen, bei denen ein voranfahrendes Fahrzeug vorhanden war und der Sekundenabstand weniger als 3 Sekunden betrug. Extrem kurze Sekundenabstände

unter 0.1 Sekunde wurden ausgeschlossen, da diese durch Messfehler bedingt waren. Auf dieser Basis wurde zusätzlich der Anteil sicherheitskritischer Sekundenabstände (< 1 s) zu vorausfahrenden Fahrzeugen für jeden Teilabschnitt errechnet. Anschließend wurden die Ergebnisse pro Geschwindigkeitsbereich (80 km/h, 100 km/h, 130 km/h) zusammengefasst.

Eine zunehmende Durchdringung automatisierter Fahrzeuge im Mischverkehr verändert neben dem Erleben menschlicher Fahrer möglicherweise auch deren Fahrverhalten als Anpassung an das Fahrverhalten automatisierter Fahrzeuge. Menschliche Fahrer halten sich aufgrund der Regelkonformität automatisierter Fahrzeuge möglicherweise selbst stärker an die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten. Die Analyse der Geschwindigkeitsprofile der Ego-Fahrzeuge können erste Hinweise liefern, ob menschliche Fahrer regelkonformer unterwegs waren. Dazu wurde pro Proband die Durchschnittsgeschwindigkeiten analog zu den Indikatoren der Kritikalität für alle zehn Teilabschnitte einer Simulatorfahrt errechnet. Anschließend wurden die Ergebnisse für jeden der drei Geschwindigkeitsbereiche (80 km/h, 100 km/h, 130 km/h) zusammengefasst. Tabelle 12 zeigt einen Überblick über alle gemessenen Fahrdaten. Alle Fahrdaten wurden in einem Messtakt von 60 Hz aufgezeichnet.

Tabelle 12: Gemessene Fahrdaten auf allen vier Autobahnabschnitten.

Messwert	Einheit	Beschreibung
Kritikalität der Interaktionssituationen		
Mittlerer Sekundenabstand	s	Mittlerer Sekundenabstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen zwischen 0.1 und 3 Sekunden für die drei Geschwindigkeitsbereiche mit 80 km/h, 100 km/h und 130 km/h einer Simulatorfahrt.
Minimaler Sekundenabstand	s	Minimaler Sekundenabstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen zwischen 0.1 und 3 Sekunden für die drei Geschwindigkeitsbereiche mit 80 km/h, 100 km/h und 130 km/h einer Simulatorfahrt.
Anteil der sicherheitskritischen Interaktionen mit hochautomatisierten Fahrzeugen	%	Anteil der sicherheitskritischen Interaktionen mit vorausfahrenden Fahrzeugen (< 1 s Sekundenabstand) für die drei Geschwindigkeitsbereiche mit 80 km/h, 100 km/h und 130 km/h einer Simulatorfahrt.
Geschwindigkeit		
Durchschnittliche Geschwindigkeit	km/h	Durchschnittliche Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs für die drei Geschwindigkeitsbereiche mit 80 km/h, 100 km/h und 130 km/h einer Simulatorfahrt.
Variabilität der Geschwindigkeit	km/h	Variabilität der Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs für die drei Geschwindigkeitsbereiche mit 80 km/h/ 100 km/h/ 130 km/h einer Simulatorfahrt

Um zu prüfen, ob die tatsächliche Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge auf den vier Fahrtabschnitten mit der angestrebten Durchdringungsrate im Versuchsplan übereinstimmte, wurde die Anzahl manuell gesteuerter und automatisierter Fahrzeuge auf jedem Autobahnabschnitt als Manipulationskontrolle aufgezeichnet.

6.3 Stichprobe

An der Fahrsimulatorstudie nahmen $N = 51$ Probanden im Alter von 22 bis 74 Jahren ($M = 41.5$ Jahre, $SD = 18.1$ Jahre, davon 22 weiblich) teil. Die Teilnehmer besaßen den Führerschein im Durchschnitt seit 23.8 Jahren ($SD = 19.0$ Jahre). 61 % der Probanden gaben an, mindestens mehrmals in der Woche Auto zu fahren. Weitere 20 % fuhren mehrmals im Monat. Etwas über die Hälfte (55 %) der Probanden hatte eine jährliche Fahrleistung von weniger als 9000 km. 45 % der Probanden gaben an, mehr als 9000 km im Jahr zu fahren. 78 % Probanden hatten Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen, davon 71 % mit dem Tempomat, 29 % mit einem Tempomat mit automatischer Abstandsregelung, 39 % mit einem Spurhalteassistenten bzw. mit einem Spurverlassenswarner, 24 % mit einem Notbremsassistenten, 33 % mit einem Spurwechselassistenten bzw. mit einem Totwinkelassistent, 14 % mit einem Stauassistenten und 45 % mit einem Parkassistenten. Die Technikaffinität der Probanden (ATI Skala; Franke, Attig & Wessel, 2019) war mit einem Mittelwert von $M = 3.88$ ($SD = 0.96$) durchschnittlich. Die Mehrheit der Probanden (59 %) hatte bereits mehrmals Erfahrung im Fahrsimulator gesammelt. 12 % waren bereits einmal im Fahrsimulator gefahren. 29% hatten bislang keine Erfahrung mit einem Fahrsimulator. Die Testungen fanden im Zeitraum von Januar bis Februar 2020 in einem Zeitraum von 8:30 Uhr bis 20:30 Uhr statt. Die Einstellung der Probanden zum automatisierten Fahren war überwiegend positiv. 37 % Probanden gaben an, dass sie dem Automatisierten Fahren gegenüber eher positiv eingestellt sind. Weitere 8 % gaben an, sehr positiv eingestellt zu sein. 41 % Probanden waren neutral eingestellt, eine Minderheit von 10 % Probanden eher negativ und weitere 4 % sehr negativ.

6.4 Ergebnisse

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Manipulationskontrolle der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge berichtet, gefolgt von den Ergebnissen der subjektiven Fragebogendaten. Anschließend folgen die Ergebnisse der Fahrdatenanalyse. Die Ergebnisse für alle paarweisen Vergleiche im Rahmen der Analyse von Fragebogen- und Fahrdaten befinden sich im Anhang.

6.4.1 Manipulation der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge auf den Autobahnabschnitten

Um zu überprüfen, ob die Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge auf den Autobahnabschnitten mit der jeweiligen Ausprägung dieser Einflussgröße im Versuchsplan übereinstimmte, wurde die Anzahl der automatisierten und manuell gesteuerten Fahrzeuge in jeder Simulatorfahrt aufgezeichnet und für die vier Autobahnabschnitte (0 %/ 25 %/ 50 %/ 75 % automatisierte Fahrzeuge) ausgewertet. Abbildung 30 zeigt den Anteil automatisierter Fahrzeuge und menschlicher Fahrer in Abhängigkeit der Durchdringungsrate auf den vier Autobahnabschnitten. Über alle Probanden hinweg stimmt die Durchdringungsrate automatisierten Fahrzeuge auf den Autobahnabschnitten bis auf geringfügige Abweichungen mit dem Versuchsplan überein. In der Versuchsbedingung mit 25 % automatisierten Fahrzeugen waren in der Studie rund 23.4 % automatisierte Fahrzeuge unterwegs. In den Versuchsbedingungen mit 50 % und 75 % automatisierten Fahrzeugen waren die Abweichungen der Durchdringungsrate vom Versuchsplan etwas größer. In der 50 % Bedingung lag die tatsächliche Durchdringung bei rund 44.1 %, und in der 75 % Bedingung waren durchschnittlich 61.0 % der Fahrzeuge automatisiert. Somit ist es insgesamt aber recht gut gelungen, die Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge entsprechend dem Versuchsplan auf den Autobahnabschnitten umzusetzen.

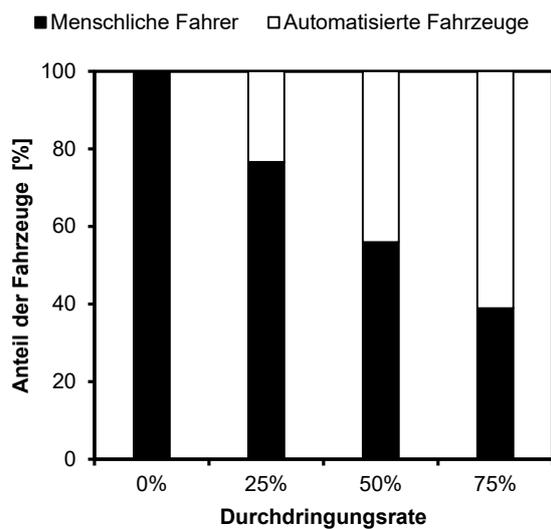


Abbildung 30: Anteil automatisierter Fahrzeuge und menschlicher Fahrer auf den vier Autobahnabschnitten in Abhängigkeit von der Durchdringungsrate.

6.4.2 Gesamtbewertung und Komforterleben auf den Fahrtabschnitten

Bei der Analyse der Gesamtbewertung zeigte sich, dass $n = 12$ Fahrer das Fahren im manuellen Verkehr ohne automatisierte Fahrzeuge bereits als „gefährlich“ oder sogar als „nicht akzeptabel“ bewerteten. Es ist zu vermuten, dass diese Probanden entweder die Skala nicht verstanden haben oder ein falsches Bezugssystem verwendeten. Daher wurden diese Probanden aus der weiteren Analyse der Fragebogendaten ausgeschlossen. Aus diesem Grund beziehen sich die Ergebnisse der Fragebogenbefragung auf die verbleibenden $n = 39$ Fahrer.

Bei der Gesamtbewertung der Fahrtabschnitte ergab die zweifaktorielle Varianzanalyse (Faktor A: Kennzeichnung, Faktor B: Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge) eine Hauptwirkung der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge ($F(2,3,83.1) = 3.6, p = .026, \eta^2_{par} = .09$). Für den Faktor Kennzeichnung zeigte sich jedoch weder eine Hauptwirkung ($F(2,36) = 0.6, p = .585$), noch eine Wechselwirkung mit der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge ($F(4,6,83.1) = .04, p = .812$). Mittels paarweiser Vergleiche konnte nachgewiesen werden, dass menschliche Fahrer die Fahrt im manuellen Verkehr signifikant angenehmer bewerteten als die Fahrten auf den drei Autobahnabschnitten mit Mischverkehr. Wie jedoch in Abbildung 31 links dargestellt wird, liegen jedoch alle Bewertungen, auch die der Fahrten im Mischverkehr, insgesamt im akzeptablen

Bereich. Die Mittelwerte liegen zwischen den Skalenpunkten 1 (= harmlos) und 4 (= sehr unangenehm). Bewertungen im Bereich „gefährlich“ gab es nur vereinzelt. Ähnliche Ergebnisse zeigte die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Frage, wie angenehm die Fahrt auf den einzelnen Fahrtabschnitten war. Die Analyse ergab eine Hauptwirkung der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge ($F(2.7,96.9) = 2.9, p = .047, \eta^2_{par} = .07$). Die Analyse zeigte jedoch weder eine Hauptwirkung der Kennzeichnung ($F(2,36) = 0.1, p = .948$), noch eine Wechselwirkung dieses Faktors mit der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge, $F(5.4,96.9) = 1.2, p = .333$). Analog zu den Ergebnissen hinsichtlich der Gesamtbewertung zeigte sich auch für das Komforterleben, dass menschliche Fahrer das Fahren im manuellen Verkehr als signifikant angenehmer bewerteten als das Fahren im Mischverkehr. Wie in Abbildung 31 rechts dargestellt, bewegten sich die mittleren Bewertungen hinsichtlich des Komforterlebens jedoch auch im Mischverkehr im eher angenehmen Bereich. Die Mittelwerte lagen in der oberen Hälfte der Skala zwischen den Skalenpunkten 3 (= mittelmäßig) und 4 (= eher angenehm).

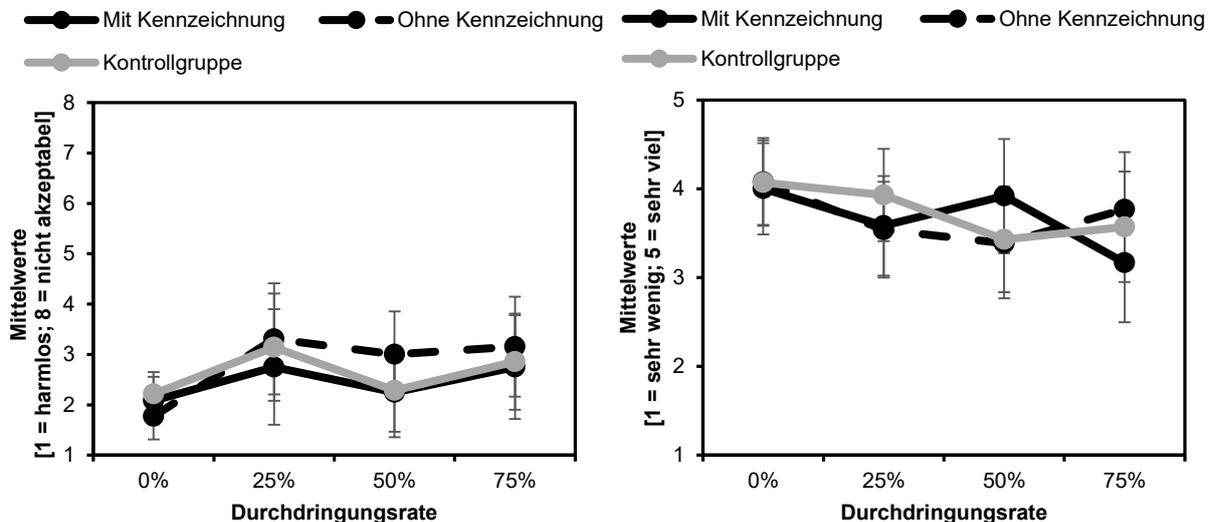


Abbildung 31: Links: Gesamtbewertung der Simulatorfahrten in Abhängigkeit von der Kennzeichnung und Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge. Rechts: Bewertung, wie angenehm die Simulatorfahrten in Abhängigkeit von der Kennzeichnung und der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge im Mischverkehr waren.

6.4.3 Effizienz im Mischverkehr und Anstrengung

Die Frage, wie gut menschliche Fahrer auf den Fahrtabschnitten im Mischverkehr vorankamen, ist ein Indikator dafür, wie effizient menschliche Fahrer die Fahrten im

Mischverkehr im Vergleich zum manuellen Verkehr einschätzen. Bei dieser Frage zeigte sich in der zweifaktoriellen Varianzanalyse eine Hauptwirkung der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge ($F(2.5,91.6) = 4.1, p = .041, \eta^2_{par} = .10$). Es ergab sich jedoch weder eine Hauptwirkung der Kennzeichnung ($F(2,36) = 0.5, p = .603$), noch eine Wechselwirkung mit der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge ($F(5.1,91.6) = 0.8, p = .544$). Paarweise Vergleiche konnten hierbei nachweisen, dass menschliche Fahrer den Eindruck hatten, sie seien auf dem Autobahnabschnitt mit manuellem Verkehr signifikant besser vorangekommen als auf Autobahnabschnitten mit Mischverkehr. Wie in Abbildung 32 links dargestellt, lagen jedoch alle Mittelwerte im oberen Bereich der Skala. Dementsprechend wurden automatisierte Fahrzeuge, selbst bei einer hohen Durchdringungsrate, nicht als allzu großes Verkehrshindernis wahrgenommen.

Bei der Frage, wie anstrengend das Fahren auf den Autobahnabschnitten für menschliche Fahrer war, zeigten sich weder Hauptwirkungen der Kennzeichnung ($F(2,36) = 0.4, p = .646$), bzw. der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge ($F(3,108) = 1.6, p = .185$), noch eine signifikante Wechselwirkung zwischen den beiden Faktoren ($F(6,108) = 0.7, p = .622$). Insgesamt bewerteten menschliche Fahrer die Fahrten im Mittel zwischen eher wenig und etwas anstrengend (siehe Abbildung 32 rechts). Dieses Ergebnis war insofern zu erwarten, als dass im Rahmen dieser Studie keine unmittelbar sicherheitskritischen bzw. komplexe Fahrsituationen oder Fahrmanöver untersucht wurden. Dennoch erfordert das Fahren auf der Autobahn grundsätzlich Aufmerksamkeit und Konzentration. Darüber hinaus war das Fahren im Fahrsimulator für die Probanden möglicherweise anstrengender als in ihrem eigenen Fahrzeug im realen Straßenverkehr auf der Autobahn.

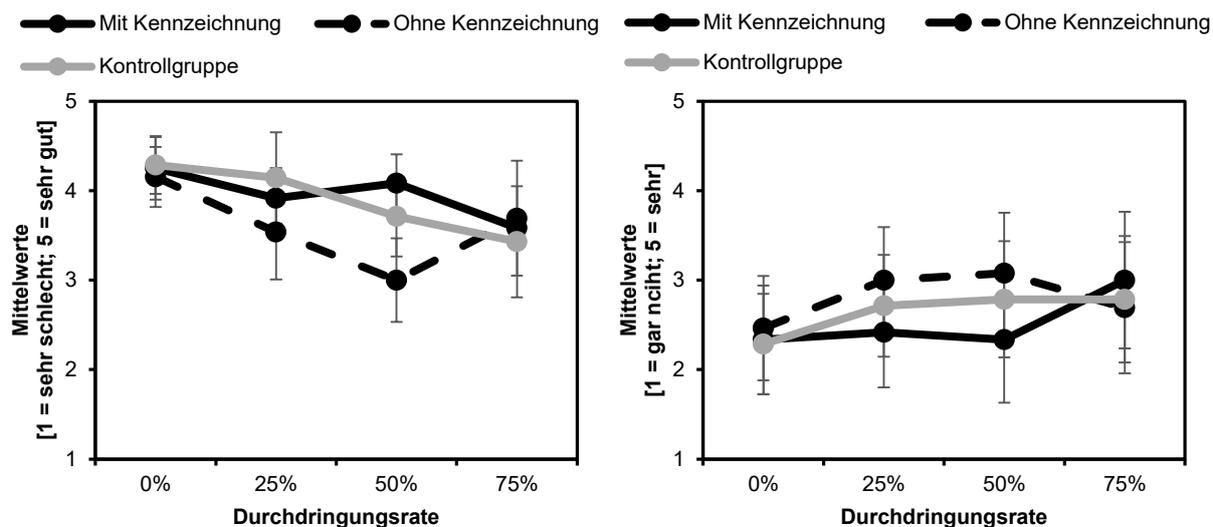


Abbildung 32: Links: Subjektive Bewertung, wie gut menschliche Fahrer in Abhängigkeit von der Durchdringungsrate und der Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge auf den Fahrtabschnitten vorangekommen sind. Rechts: Subjektive Bewertung, wie anstrengend die Fahrt für menschliche Fahrer in Abhängigkeit von der Durchdringungsrate und Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge war.

6.4.4 Wahrgenommener Anteil automatisierter Fahrzeuge auf den Autobahnabschnitten

Die Einschätzung, wie hoch der Anteil an automatisierten Fahrzeugen auf den Autobahnabschnitten war, wurde in den beiden Versuchsgruppen (mit/ohne Kennzeichnung) mit vorheriger Informationsphase über automatisiertes Fahren, jedoch nicht in der Kontrollgruppe, welche nicht über den Mischverkehr Bescheid wusste, abgefragt.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergab eine signifikante Hauptwirkung der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge ($F(2.8,64.0) = 14.7, p < .001, \eta^2_{par} = .39$) sowie eine signifikante Wechselwirkung der Durchdringungsrate mit der Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge ($F(2.8,64.0) = 15.4, p < .001, \eta^2_{par} = .40$). Die Kennzeichnung allein hatte keine Hauptwirkung ($F(1,36) = 0.6, p = .362$).

Wie Abbildung 33 zeigt, schätzten menschliche Fahrer die Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge deutlich korrekter ein, wenn der aktuelle Fahrmodus nach außen gekennzeichnet war als ohne Außenkennzeichnung. In der Gruppe mit Kennzeichnung stieg die Schätzung analog zur tatsächlichen Durchdringungsrate. Trotz der richtigen Tendenz unterschätzten Fahrer in dieser Versuchsgruppe die Durchdringungsrate jedoch. Bei 25 % Durchdringungsrate schätzten menschliche

Fahrer, dass rund 17 % der Fahrzeuge automatisiert waren, bei 50 % Durchdringungsrate lag die mittlere Schätzung bei rund 28 % automatisierten Fahrzeugen, und bei 75 % Durchdringung gingen die menschlichen Fahrer durchschnittlich von rund 60 % automatisierten Fahrzeugen im Mischverkehr aus (was den objektiven Verhältnissen entsprach, s. Kapitel 6.4.1).

In der Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung waren die Schätzungen der Durchdringungsrate über alle Fahrtabschnitte hinweg konstant und lagen im Mittel zwischen 26% und 40% automatisierten Fahrzeugen. Dass Fahrer in dieser Gruppe die Durchdringungsrate auf dem Fahrtabschnitt mit 25% automatisierten Fahrzeugen korrekt einschätzten, könnte ein Zufallsbefund sein, da die Schätzung sehr ähnlich zu den Schätzungen der anderen Fahrtabschnitte ausfällt. Eine Systematik der Schätzungen ist in dieser Versuchsgruppe nicht zu erkennen.

Insgesamt zeigen diese Ergebnisse, dass sich Fahrer bei der Schätzung der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge auf den Autobahnabschnitten maßgeblich an der Kennzeichnung orientierten. Die Unterschiede im Fahrverhalten automatisierter und manuell gesteuerter Fahrzeuge waren nicht hinreichend, um eine Unterscheidung von automatisiertem und menschlichem Fahrverhalten vorzunehmen.

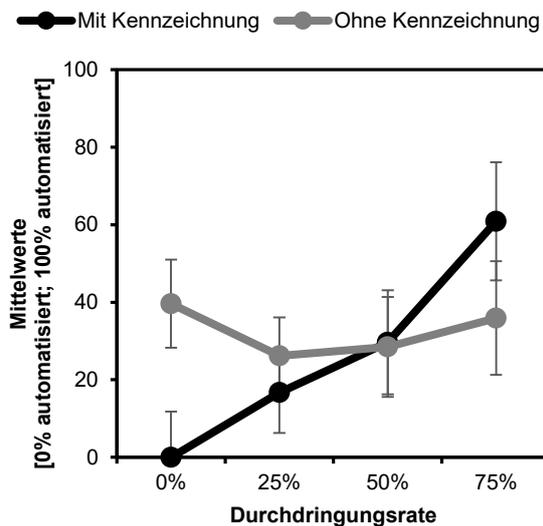


Abbildung 33: Einschätzung der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge im Mischverkehr in den beiden Versuchsgruppen mit vorheriger Informationsphase.

6.4.5 Unterschiede im Fahrverhalten zwischen menschlichen Fahrern und automatisierten Fahrzeugen

Ob und inwiefern Fahrer Unterschiede im Fahrverhalten zwischen menschlichen Fahrern und automatisierten Fahrzeugen wahrgenommen haben, wurde in dieser Studie anhand mehrerer Fragen untersucht. Da diese Fragen Wissen über den Mischverkehr auf der Autobahn voraussetzten, wurden diese Fragen ausschließlich in den beiden Versuchsgruppen mit vorheriger Informationsphase gestellt, jedoch nicht in der Kontrollgruppe. Zunächst gaben die Probanden in den beiden Versuchsgruppen an, ob sich ihrer Meinung nach die automatisierten Fahrzeuge während der Simulatorfahrten anders verhielten als die anderen menschlichen Fahrer im Mischverkehr. Abbildung 34 führt die Ergebnisse für die Versuchsgruppen mit Kennzeichnung (links) und ohne Kennzeichnung (rechts) getrennt auf.

In der Versuchsgruppe mit Kennzeichnung wussten die Probanden, dass Fahrzeuge im automatisierten Fahrmodus gekennzeichnet waren. Aus diesem Grund gaben in der Versuchsbedingung mit 0 % Durchdringungsrate alle Probanden an, keine automatisierten Fahrzeuge wahrgenommen zu haben. In der Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung antworteten 50 (94 %) Probanden in der Versuchsbedingung mit 0 % automatisierten Fahrzeugen, einen Unterschied zwischen automatisierten Fahrzeugen und menschlichen Fahrern wahrgenommen zu haben. Jedoch gab es in dieser Versuchsbedingung keine automatisierten Fahrzeuge. Möglicherweise haben Fahrer hier die Bandbreite menschlichen Fahrverhaltens wahrgenommen und diese fälschlicherweise für Unterschiede zwischen den beiden Fahrmodi gehalten.

Hinsichtlich der drei Autobahnabschnitte mit Mischverkehr gaben jeweils rund 60 % der Probanden in der Versuchsgruppe mit Kennzeichnung an, einen Unterschied zwischen automatisiertem und menschlichem Fahrverhalten wahrgenommen zu haben. In der Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung gab ebenfalls eine große Mehrheit von jeweils rund 75 % der Probanden an, Unterschiede zwischen automatisiertem und menschlichen Fahrverhalten festgestellt zu haben. Auffällig ist, dass in der Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung deutlich mehr Probanden angaben, Unterschiede im Fahrverhalten wahrgenommen zu haben als in der Versuchsgruppe mit Kennzeichnung. Möglicherweise achteten Probanden in der Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung verstärkt auf mögliche Unterschiede zwischen den Fahrzeugen im Umgebungsverkehr, da ihnen keine visuellen Hinweise zur korrekten Zuordnung des

Fahrverhaltens zum Fahrmodus durch eine Außenkennzeichnung zur Verfügung standen. Wie bereits in Abbildung 33 dargestellt, orientierten sich menschliche Fahrer bei der Zuordnung des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs zum Fahrmodus maßgeblich an der Außenkennzeichnung. Bei vorhandener Kennzeichnung wirkten sich die Unterschiede im Fahrverhalten jedoch weniger auf die Wahrnehmung der Fahrer aus.

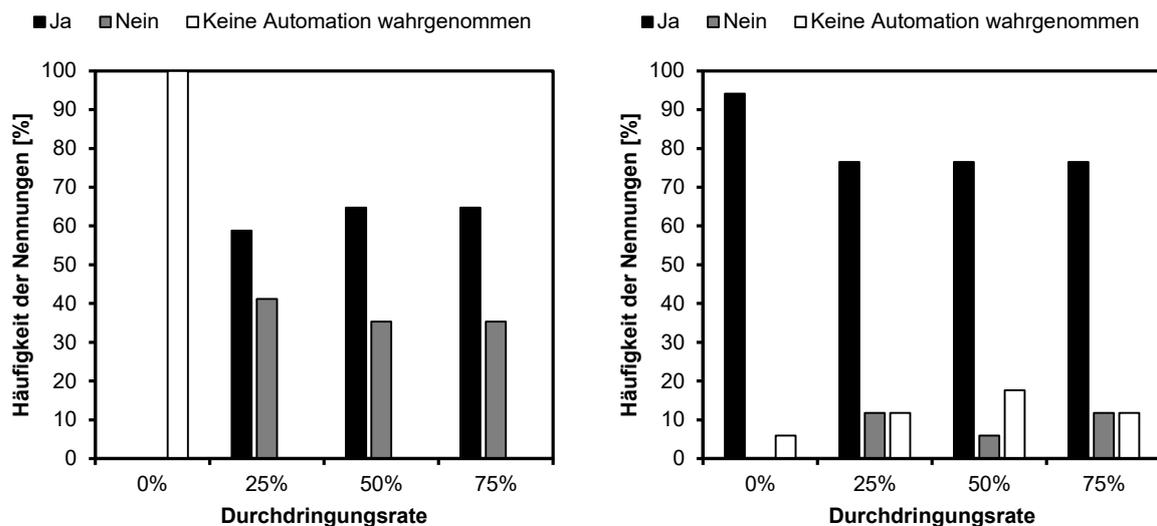


Abbildung 34: Links: Antwortverteilung auf die Frage, ob menschlichen Fahrern in der Versuchsgruppe mit Kennzeichnung Unterschiede zwischen automatisiertem und menschlichem Fahrverhalten wahrgenommen haben. Rechts: Antwortverteilung auf die Frage, ob menschlichen Fahrern in der Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung Unterschiede zwischen automatisiertem und menschlichem Fahrverhalten wahrgenommen haben

In einem freien Antwortfeld hatten die Probanden zusätzlich die Möglichkeit, die von ihnen wahrgenommenen Unterschiede im Fahrverhalten genauer zu spezifizieren. Eine qualitative Inhaltsanalyse (Mayring, 2015) der offenen Antworten zeigte, dass die Probanden sowohl positive als auch negative Aspekte bezüglich automatisierten Fahrverhaltens feststellten. Insgesamt gab es 144 Nennungen, welche in die Analyse eingingen. Es ergaben sich insgesamt drei positive und zwei negative Bewertungskategorien. Die Ergebnisse der Inhaltsanalyse sind in Abbildung 35 dargestellt.

Die erste Kategorie *Regelkonformität* (42 % der Nennungen) fasst die Informationen zur Einhaltung der Geschwindigkeitsbeschränkung und den minimalen Sicherheitsabständen zusammen, welche im Vorfeld der Simulatorfahrten in der Informationsphase gegeben wurden. Die zweite Kategorie *Positiver Fahrstil* (14 % der Nennungen) beinhaltet positive Bewertungen automatisierten Fahrverhaltens, welches

von Probanden als rücksichtsvoll, ruhig, defensiv und sicher beschrieben wurde. Die dritte Kategorie *Vorhersehbarkeit* (3 % der Nennungen) umfasst Aussagen zur Vorhersehbarkeit des Fahrverhaltens automatisierter Fahrzeuge, woraus Vertrauen und Sicherheit im Mischverkehr resultieren. Die vierte Kategorie *Ausbremsen des Verkehrsflusses* (22 % der Nennungen) beinhaltet die Aussagen, dass automatisierte Fahrzeuge durch ihr Fahrverhalten als Verkehrshindernis aufgefallen sind, indem sie Probanden durch langsames Fahren ausgebremst haben oder durch das Einhalten großer Sicherheitsabstände den Verkehrsfluss insgesamt verlangsamt haben. Die Aussage wurde verstärkt bei einer Durchdringung von 75 % automatisierten Fahrzeugen im Mischverkehr getroffen. Die fünfte Kategorie *Nicht nachvollziehbares Verhalten* (19 % der Nennungen) umfasst Aspekte automatisierten Fahrverhaltens, welche für Fahrer im Mischverkehr nicht unmittelbar verständlich war. Darunter fiel beispielsweise ein abruptes Abbremsen eines automatisierten Fahrzeugs, um den großen Sicherheitsabstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug einzuhalten, oder das exakte Einhalten der Geschwindigkeitsbeschränkung bei einem Überholvorgang.

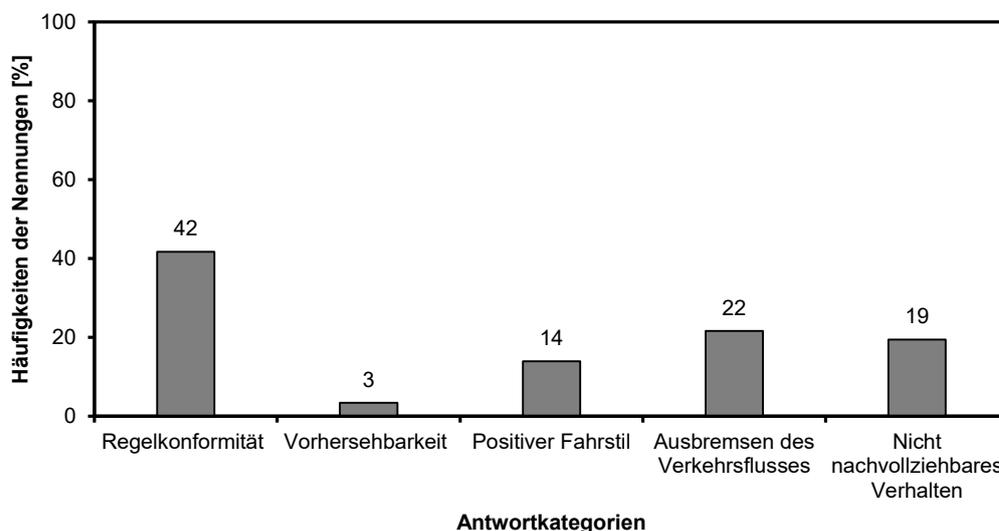


Abbildung 35: Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse hinsichtlich der Frage, wie sich automatisierte Fahrzeuge in ihrem Fahrverhalten von menschlichen Fahrern unterscheiden.

6.4.6 Abstandsverhalten zu vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem linken Fahrstreifen im Mischverkehr

Insgesamt wurden die Fahrdaten von $n = 49$ Probanden (96 % der Gesamtstichprobe) korrekt aufgezeichnet, sodass sich die im Folgenden berichteten Ergebnisse auf diese

Stichprobe beziehen. Weiterhin beziehen sich die Ergebnisse der Fahrdatenanalyse auf die ersten neun von zehn Teilabschnitten jeder Autobahnfahrt, da einige Probanden auf dem letzten Teilabschnitt mit 80 km/h (34500m – 35000m) bereits abgebremst hatten, um auf den Parkplatz zu fahren. Aus diesem Grund wurde der letzte Teilabschnitt aus der Analyse der Fahrdaten ausgenommen. Schließlich hielten einige Teilnehmer so große Sekundenabstände, dass Minimum und Mittelwert des Sekundenabstands nicht sinnvoll zu berechnen war (Sekundenabstand größer 3 Sekunden). Deshalb konnten diese beiden Parameter in den Abschnitten mit 100 km/h nur für 27 Probanden berechnet werden, in den Abschnitten mit 80 km/h nur für 30 Probanden. In den Abschnitten mit 130 km/h lagen für alle 49 Probanden entsprechende Werte vor.

Um die Forschungsfrage zu beantworten, ob Fahrer bei steigender Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge im Mischverkehr ihr Abstandsverhalten ändern, wurden die mittleren und minimalen Sekundenabstände der Probanden zu vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem linken Fahrstreifen für jeden Geschwindigkeitsbereich (80 km/h, 100 km/h, 130 km/h) analysiert. Zusätzlich zu den Sekundenabständen wurde der prozentuale Anteil der sicherkritischen Sekundenabstände zu vorausfahrenden Fahrzeugen analysiert. Dazu wurden zweifaktorielle Varianzanalysen (Faktor A: Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge, Faktor B: Art der Kennzeichnung) für jeden der drei Geschwindigkeitsbereiche (80 km/h, 100 km/h, 130 km/h) gerechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Hauptwirkungen und Wechselwirkungen der Durchdringungsrate und der Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge auf den mittleren und minimalen Sekundenabstand zu vorausfahrenden Fahrzeuge sowie den prozentualen Anteil sicherheitskritischer Sekundenabstände der Probanden in den drei Geschwindigkeitsbereichen.

			<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	η^2_p
130 km/h	Mittlerer Sekundenabstand	Durchdringungsrate (D)	7.2	3,138	< .001	.14
		Kennzeichnung (K)	0.5	2,46	.621	
		D x K	1.2	6,138	.298	
	Minimaler Sekundenabstand	D	1.1	2,7,124.0	.372	
		K	0.1	2,46	.982	
		D x K	0.9	5,4,124.0	.491	
	Anteil sicherheitskritischer Sekundenabstände	D	3.6	1,8,81.9	.038	.08
		K	0.6	2,46	.552	
		D x K	0.3	3,6,81.9	.844	
100 km/h	Mittlerer Sekundenabstand	D	0.4	3,72	.750	
		K	1.2	2,24	.329	
		D x K	1.3	6,72	.280	
	Minimaler Sekundenabstand	D	1.6	3,72	.194	
		K	0.4	2,24	.669	
		D x K	1.5	6,72	.182	
	Anteil sicherheitskritischer Sekundenabstände	D	3.0	3,138	.034	.06
		K	1.6	2,46	.210	
		D x K	0.4	6,138	.904	
80 km/h	Mittlerer Sekundenabstand	D	6.1	2,7,73.8	.001	.19
		K	2.7	2,27	.086	
		D x K	0.5	5,5,73.8	.829	
	Minimaler Sekundenabstand	D	5.5	2,7,71.6	.003	.17
		K	2.1	2,27	.148	
		D x K	0.2	5,3,71.6	.978	
	Anteil sicherheitskritischer Sekundenabstände	D	2.1	2,3,106.2	.120	
		K	2.3	2,46	.115	
		D x K	1.5	4,6,106.2	.195	

Im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 130 km/h schwanken die minimalen Sekundenabstände über alle Fahrtabschnitte hinweg unsystematisch (siehe Abbildung 36 links). Bei dem mittleren Sekundenabstand zeigt sich eine signifikante Hauptwirkung der Durchdringungsrate. Paarweise Vergleiche zeigen, dass der mittlere Sekundenabstand im rein menschlichen Verkehr mit 2.01 s signifikant größer ist als bei einer Durchdringungsrate von 50 % (1.92 s) und 75 % (1.87 s). Eine vergleichbare Hauptwirkung findet sich beim Prozentsatz von Sekundenabständen unter 1 Sekunde. Dieser steigt von 3.1 % beim rein menschlichen Verkehr auf 4.7 % bei einer Durchdringungsrate von 50 % und auf 5.3 % bei 75 % hochautomatisierten Fahrzeugen.

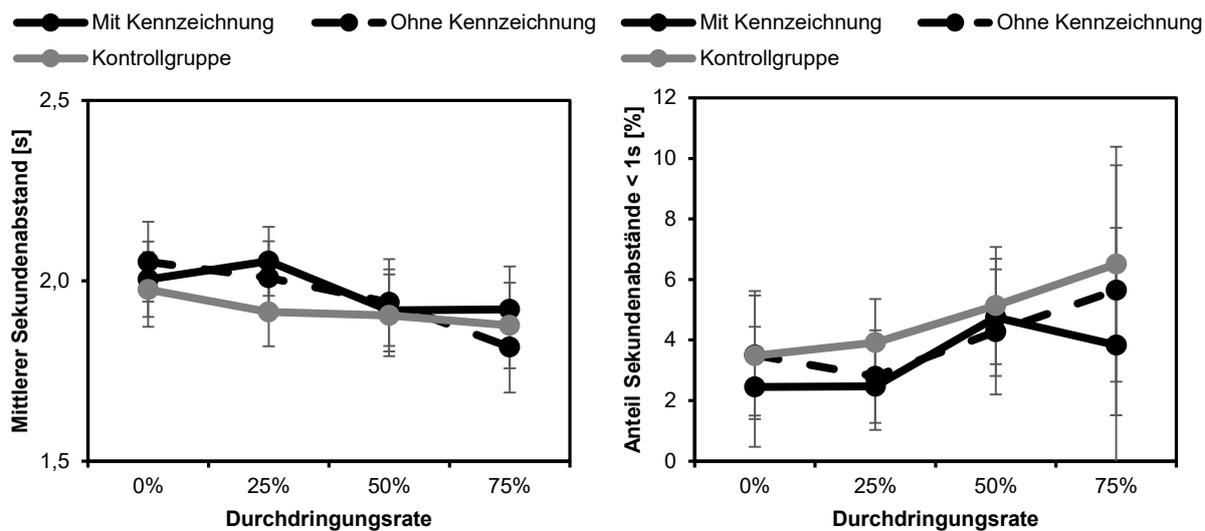


Abbildung 36: Links: Mittlerer Sekundenabstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen in Abhängigkeit der Durchdringungsrate und der Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 130 km/h. Rechts: Anteil sicherheitskritischer Sekundenabstände (< 1s) zu vorausfahrenden Fahrzeugen in Abhängigkeit der Durchdringungsrate und der Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 130 km/h.

Im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 100 km/h ergaben sich weder für den minimalen noch den mittleren Sekundenabstand signifikante Effekte. Bei prozentualen Anteil von Sekundenabständen unter einer Sekunde zeigt sich aber eine signifikante Hauptwirkung der Durchdringungsrate. In den paarweisen Vergleichen unterscheidet sich die 50 % Durchdringungsrate tendenziell von dem rein menschlichen Verkehr, die 75 % Durchdringungsrate signifikant. Der Anteil steigt von 0,7 % auf 2,4 % bei 50 % Durchdringung und auf 4,5 % bei 75 % Durchdringung.

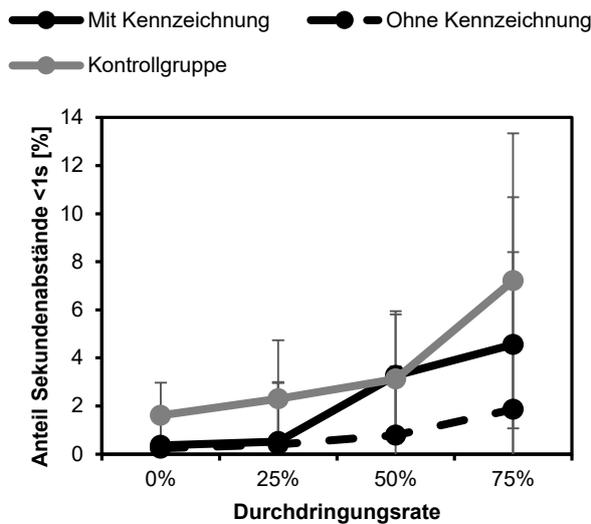


Abbildung 37: Anteil sicherheitskritischer Sekundenabstände (< 1s) zu vorausfahrenden Fahrzeugen in Abhängigkeit der Durchdringungsrate und der Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 100 km/h.

Im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 80 km/h ergab die Varianzanalyse eine Hauptwirkung der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge auf die minimalen Sekundenabstände zu vorausfahrenden Fahrzeugen. Paarweise Vergleiche zeigen, dass sich insbesondere die Durchdringungsrate 75 % von dem rein menschlichen Verkehr unterscheidet. Der minimale Sekundenabstand beträgt im rein menschlichen Verkehr 1.7 s und verringert sich bei der hohen Durchdringungsrate auf 1.1 s. In vergleichbarer Weise findet sich auch für den mittleren Sekundenabstand eine signifikante Hauptwirkung der Durchdringungsrate, wobei sich wieder vor allem die 75 % Durchdringungsrate von dem rein menschlichen Verkehr unterscheidet (1.9 s bei 75 %, 2.3 s bei rein menschlichem Verkehr). Beim prozentualen Anteil von kritischen Sekundenabständen finden sich keine signifikanten Effekte.

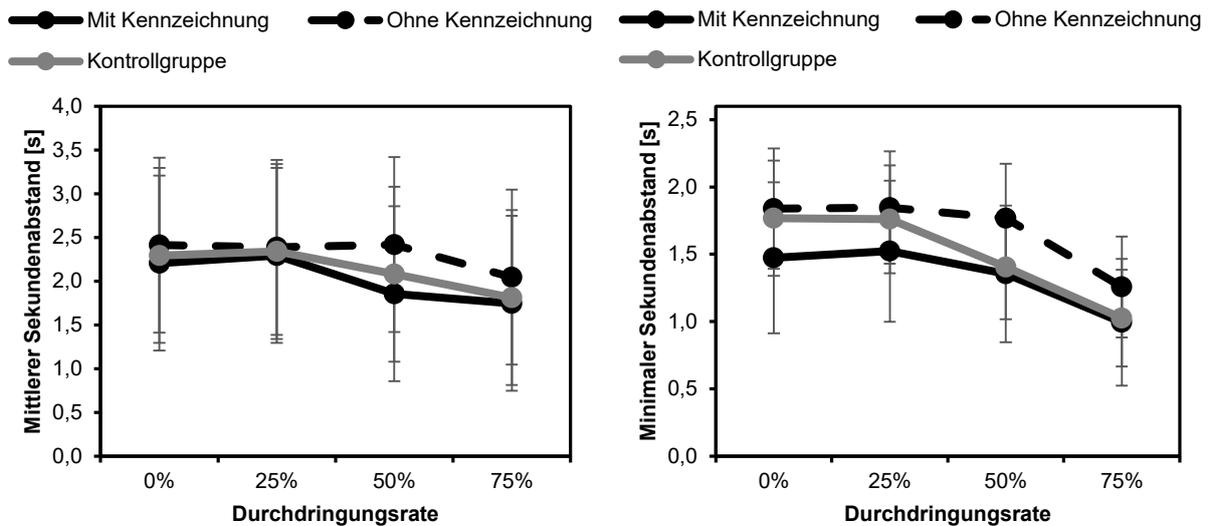


Abbildung 38: Links: Mittlerer Sekundenabstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen in Abhängigkeit der Durchdringungsrate und der Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 80 km/h. Rechts: Minimaler Sekundenabstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen in Abhängigkeit der Durchdringungsrate und der Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 80 km/h.

6.4.7 Anpassung der Geschwindigkeit menschlicher Fahrer an das Fahren im Mischverkehr

Um die Forschungsfrage zu beantworten, ob menschliche Fahrer ihre Geschwindigkeit an den Mischverkehr anpassen und regelkonformer fahren, wurden die durchschnittliche Geschwindigkeit und die Variabilität der Geschwindigkeit der Fahrer im Ego-Fahrzeug für jeden Geschwindigkeitsbereich (80 km/h, 100 km/h, 130 km/h) analysiert. Dazu wurden zunächst die entsprechenden Teilabschnitte für jeden der drei Geschwindigkeitsbereiche zusammengefasst. Anschließend wurden die Messwerte für jeden Bereich analysiert.

Die zweifaktoriellen Varianzanalysen zeigten Hauptwirkungen der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge auf die gefahrene Durchschnittsgeschwindigkeit der Probanden in allen drei analysierten Geschwindigkeitsbereichen (siehe Tabelle 14). Der Faktor Kennzeichnung hatte weder eine Hauptwirkung noch eine Wechselwirkung mit der Durchdringungsrate auf die Durchschnittsgeschwindigkeit in den drei Geschwindigkeitsbereichen.

Hinsichtlich der Variabilität der Geschwindigkeit ergab sich eine Hauptwirkung der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge auf den Autobahnabschnitten mit einem Tempolimit von 130 km/h. Für die Autobahnabschnitte mit einem Tempolimit

von 100 km/h bzw. 80 km/h zeigte sich diese Hauptwirkung nicht. Ebenso hatte die Kennzeichnung bei keinem der drei Tempolimits weder eine Hauptwirkung, noch eine Wechselwirkung mit der Durchdringungsrate.

Tabelle 14: Hauptwirkungen und Wechselwirkungen der Durchdringungsrate und der Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge auf die durchschnittliche Geschwindigkeit und die Variabilität der Geschwindigkeit der Probanden in den drei Geschwindigkeitsbereichen.

			<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	η^2_p
130 km/h	Durchschnittliche Geschwindigkeit	Durchdringungsrate (D)	4.8	1,7,77.3	.015	.10
		Kennzeichnung (K)	0.3	2,46	.754	
		D x K	0.6	3,4,77.3	.654	
	Variabilität der Geschwindigkeit	D	6.9	2,6,120.1	.001	.13
		K	0.2	2,46	.979	
		D x K	0.3	5,2,120.1	.910	
100 km/h	Durchschnittliche Geschwindigkeit	D	4.2	2,3,105.8	.014	.08
		K	1.0	2,46	.369	
		D x K	1.6	4,6,105.8	.161	
	Variabilität der Geschwindigkeit	D	0.5	2,6,130.6	.663	
		K	0.6	2,46	.528	
		D x K	1.9	5,7,130.6	.097	
80 km/h	Durchschnittliche Geschwindigkeit	D	7.7	3,138	< .001	.14
		K	1.1	2,46	.351	
		D x K	0.5	6,138	.806	
	Variabilität der Geschwindigkeit	D	1.7	2,8,129.7	.177	
		K	0.6	2,46	.555	
		D x K	0.8	5,6,129.7	.554	

Hinsichtlich der durchschnittlichen Geschwindigkeit im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 130 km/h zeigte sich in der zweifaktoriellen Varianzanalyse eine Hauptwirkung der Durchdringungsrate. Die Kennzeichnung zeigte jedoch weder eine Hauptwirkung, noch eine Wechselwirkung mit der Durchdringungsrate. Paarweise Vergleiche zeigten, dass die durchschnittliche Geschwindigkeit menschlicher Fahrer im Mischverkehr signifikant niedriger war als im manuellen Verkehr. Hinsichtlich der Regelkonformität der Geschwindigkeit zeigte sich, dass die Fahrer im Geschwindigkeitsbereich einem Tempolimit von 130 km/h bereits im rein manuellen Verkehr im Durchschnitt regelkonform fahren. Die Mittelwerte liegen über alle Versuchsgruppen hinweg bei rund 126 km/h und somit unter der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (siehe Abbildung 39 links).

Hinsichtlich der Variabilität der Geschwindigkeit ergab die zweifaktorielle Varianzanalyse eine Hauptwirkung der Durchdringungsrate. Die Kennzeichnung zeigte jedoch weder eine Hauptwirkung, noch eine Wechselwirkung mit der Durchdringungsrate. Paarweise Vergleiche konnten zeigen, dass die Variabilität der

Geschwindigkeit im Mischverkehr im Vergleich zum manuellen Verkehr signifikant höher war (siehe Abbildung 39 rechts).

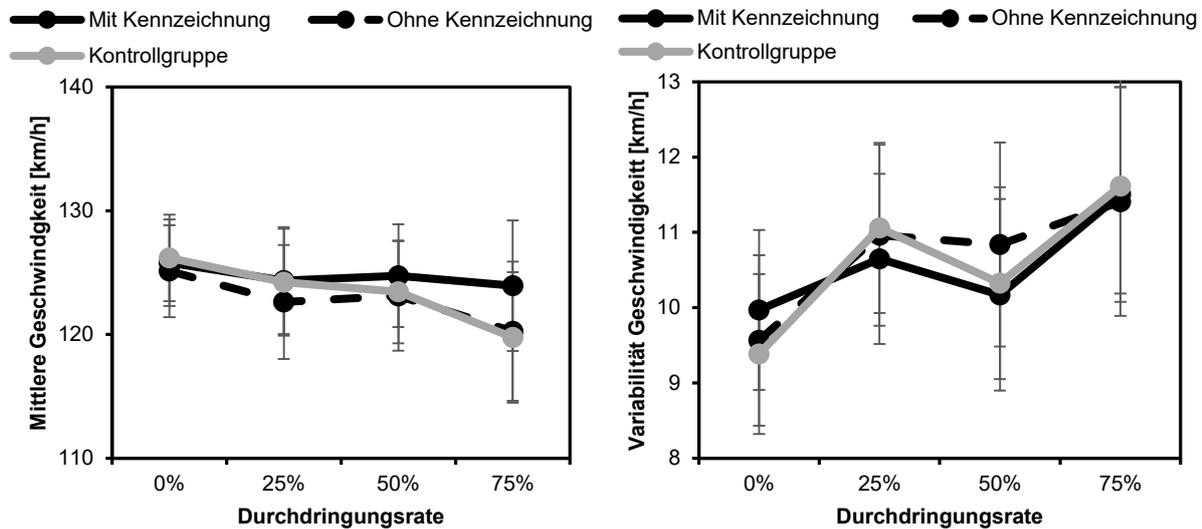


Abbildung 39: Links: Durchschnittliche Geschwindigkeit im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 130 km/h. Rechts: Variabilität der Geschwindigkeit im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 130 km/h.

Hinsichtlich der durchschnittlichen Geschwindigkeit im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 100 km/h zeigte sich in der zweifaktoriellen Varianzanalyse eine Hauptwirkung der Durchdringungsrate. Die Kennzeichnung zeigte jedoch weder eine Hauptwirkung, noch eine Wechselwirkung mit der Durchdringungsrate. Paarweise Vergleiche zeigten, dass die Probanden im Mischverkehr signifikant langsamer und regelkonformer fahren als im manuellen Verkehr. Während die Probanden im manuellen Verkehr durchschnittlich 6 km/h zu schnell fahren, näherte sich die durchschnittliche Geschwindigkeit mit steigender Durchdringungsrate an die zulässige Höchstgeschwindigkeit schrittweise an (siehe Abbildung 40 links).

Hinsichtlich der Variabilität der Geschwindigkeit zeigten sich in der zweifaktoriellen Varianzanalyse weder eine Hauptwirkung der Durchdringungsrate oder der Kennzeichnung bzw. eine Wechselwirkung zwischen den beiden Einflussgrößen. Die Geschwindigkeiten schwankten über die Versuchsbedingungen und -gruppen hinweg zwischen 4 km/h und 7 km/h unsystematisch (siehe Abbildung 40 rechts).

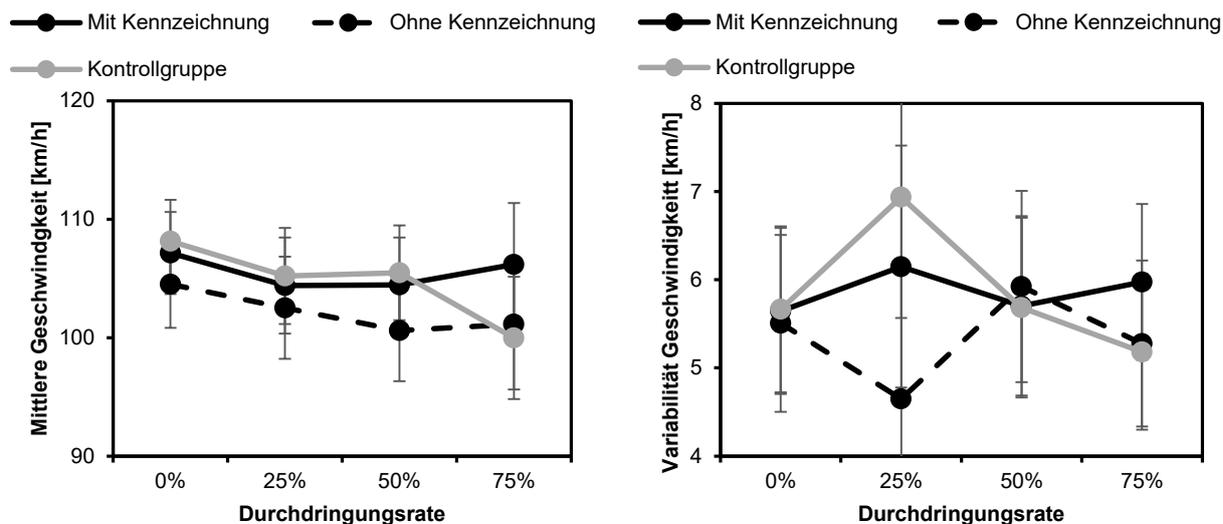


Abbildung 40: Links: Durchschnittliche Geschwindigkeit im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 100 km/h. Rechts: Variabilität der Geschwindigkeit im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 100 km/h.

Hinsichtlich der durchschnittlichen Geschwindigkeit im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 130 km/h zeigte sich in der zweifaktoriellen Varianzanalyse eine Hauptwirkung der Durchdringungsrate. Die Kennzeichnung zeigte jedoch weder eine Hauptwirkung, noch eine Wechselwirkung mit der Durchdringungsrate. Wie in Abbildung 41 links dargestellt, führen die Probanden auf den Fahrtabschnitten mit einem Tempolimit von 80 km/h im manuellen Verkehr im Mittel 10 km/h zu schnell. Mittels paarweiser Vergleiche konnte nachgewiesen werden, dass Probanden im Mischverkehr signifikant langsamer und somit regelkonformer fahren als im manuellen Verkehr. Analog zu den Ergebnissen im Geschwindigkeitsbereich mit 100 km/h nähert sich auch hier die durchschnittliche Geschwindigkeit mit steigender Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge schrittweise an die zulässige Höchstgeschwindigkeit an.

Hinsichtlich der Variabilität der Geschwindigkeit zeigten sich in der zweifaktoriellen Varianzanalyse weder eine Hauptwirkung der Durchdringungsrate oder der Kennzeichnung bzw. eine Wechselwirkung zwischen den beiden Einflussgrößen. Die Geschwindigkeiten schwankten über die Versuchsbedingungen und -gruppen hinweg zwischen 6 km/h und 8 km/h unsystematisch (siehe Abbildung 41 rechts).

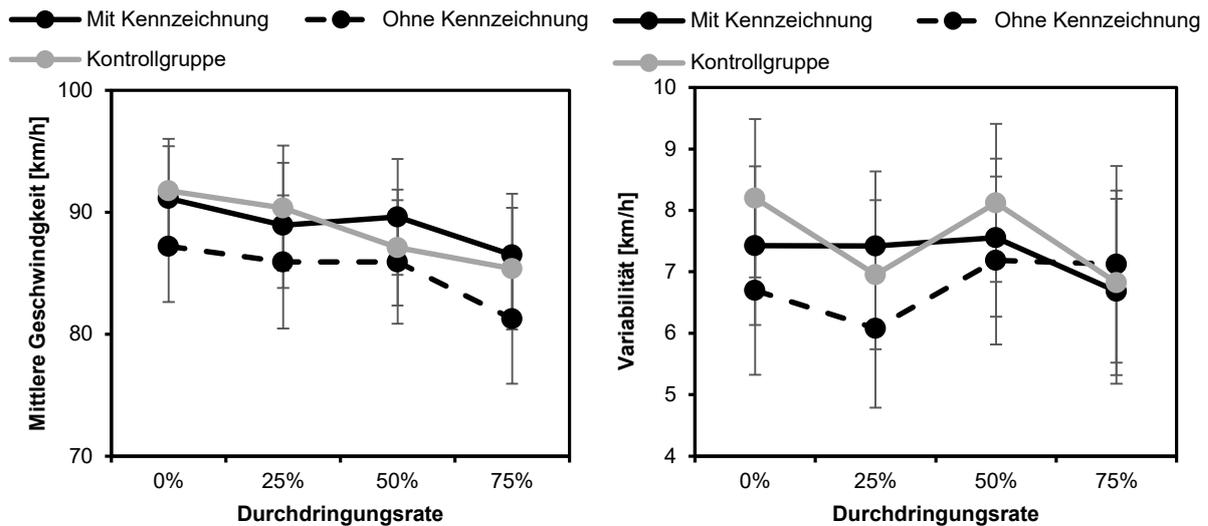


Abbildung 41: Links: Durchschnittliche Geschwindigkeit im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 80 km/h. Rechts: Variabilität der Geschwindigkeit im Geschwindigkeitsbereich mit einem Tempolimit von 80 km/h.

6.5 Fragestellungen und Antworten

Die vorliegende Studie untersuchte die Reaktion und Verhaltensanpassung menschlicher Fahrer an automatisierte Fahrzeuge (SAE Level 3; SAE, 2018) im Mischverkehr auf der Autobahn bei längeren Autobahnfahrten. Das Erleben dieses Mischverkehrs und mögliche Verhaltensänderungen wurden in Abhängigkeit der Kennzeichnung (mit Kennzeichnung, ohne Kennzeichnung, Kontrollgruppe ohne Information über hochautomatisierte Fahrzeuge) und der Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge (0 %, 25 %, 50 %, 75 %) auf vier Autobahnabschnitten von jeweils 35 km Länge untersucht. Im Folgenden werden die Antworten auf die zentralen Fragestellungen dieser zweiten Studie dargestellt und die Studie methodisch diskutiert.

6.5.1 Wird eine unterschiedliche Durchdringungsrate mit hochautomatisierten Fahrzeugen überhaupt erlebt?

Nach jedem Fahrtabschnitt wurden die Fahrer der beiden Gruppen, die wussten, dass hochautomatisierte Fahrzeuge unterwegs waren, gefragt, welchen Anteil dieser Fahrzeuge sie schätzen würden. Dabei zeigte sich, dass die Gruppe ohne Kennzeichnung der hochautomatisierten Fahrzeuge unabhängig von der Durchdringungsrate von 30 – 40 % solcher Fahrzeuge ausging, allerdings auch in der

Bedingung mit nur menschlich gesteuerten Fahrzeugen. Dies bestätigt den Befund der ersten Studie, dass das hier auf der Autobahn gezeigte Fahrverhalten automatisierter Fahrzeuge noch innerhalb der Bandbreite des menschlichen Fahrverhaltens liegt. Dies zeigt sich auch, wenn die Fahrer gefragt wurden, ob sie Unterschiede im Fahrverhalten zwischen hochautomatisierten und menschlich geführten Fahrzeugen wahrgenommen hätten. Insbesondere die Fahrer der Gruppe ohne Kennzeichnung waren zu 75 % bis 90 % überzeugt, sie hätten entsprechende Unterschiede wahrgenommen. Dies war allerdings auch in der Bedingung ohne hochautomatisierte Fahrzeuge (0 % Durchdringungsrate) der Fall. In der Gruppe mit Kennzeichnung der hochautomatisierten Fahrzeuge gaben dann auch etwa 40 % der Fahrer an, keinen Unterschied bemerkt zu haben.

In der Gruppe mit Kennzeichnung konnten die Anteile der hochautomatisierten Fahrzeuge recht gut eingeschätzt werden. Die Kennzeichnung prägt damit sehr deutlich das Bild der menschlichen Fahrer vom Mischverkehr mit hochautomatisierten Fahrzeugen. Nur anhand des Fahrverhaltens ist für menschliche Fahrer im Mischverkehr kaum zuverlässig zu erkennen, wie viele hochautomatisierte Fahrzeuge ihnen begegnen. Gerade bei diesen typischen Autobahnfahrten liegt das Verhalten der hochautomatisierten Fahrzeuge insgesamt im Bereich normalen menschlichen Fahrverhaltens. Eine Kennzeichnung hochautomatisierter Fahrzeuge führt zu einer recht genauen Wahrnehmung der Häufigkeit dieser Fahrzeuge und ermöglicht natürlich auch im Einzelfall den Abruf von Erwartungen über das typische Verhalten dieser hochautomatisierten Fahrzeuge.

6.5.2 Wird der Mischverkehr mit hochautomatisierten Fahrzeugen gefährlicher und unangenehmer erlebt?

Nach jedem Fahrtabschnitt waren die Teilnehmer befragt worden, wie sie diesen Abschnitt erlebt hatten. Die Fahrten im Mischverkehr wurden als etwas gefährlicher und unangenehmer bewertet, wobei das Gefahrenpotenzial eher unangenehm als wirklich gefährlich erlebt wurde. Dieser Effekt war unabhängig von der Durchdringungsrate mit hochautomatisierten Fahrzeugen und zeigte sich bereits bei einer Rate von 25 % hochautomatisierter Fahrzeuge. Obwohl sich anscheinend einzelne hochautomatisierte Fahrzeuge nicht eindeutig am Fahrverhalten erkennen

lassen, scheint sich doch der Verkehrsfluss insgesamt zu ändern, wenn hochautomatisierte Fahrzeuge unterwegs sind.

Dies ist vermutlich durch die Art der Fahrt zu erklären. Auf den untersuchten Abschnitten auf der Autobahn fahren die hochautomatisierten Fahrzeuge entweder langsam auf der rechten Spur und können unproblematisch überholt werden, ohne dass irgendeine Interaktion mit ihnen stattfindet. Eine Interaktion findet nur dann statt, wenn die hochautomatisierten Fahrzeuge langsame Lkw überholen und dann das Egofahrzeug sich von hinten nähert und nicht so schnell fahren kann wie gewünscht. Dies gilt dann besonders im Bereich von Geschwindigkeitsbegrenzungen. Hier scheint eine Durchdringungsrate von 25 % schon auszureichen, um dies erlebbar zu machen. Weitere hochautomatisierte Fahrzeuge verstärken diesen Effekt offensichtlich nicht, was auch dadurch bedingt sein kann, dass in diesen Situationen ja ein einziges hochautomatisiertes Fahrzeug ausreicht, um diesen Effekt zu erzielen und zusätzliche hochautomatisierte Fahrzeuge dies nicht weiter verstärken. Bereits bei einer Durchdringungsrate von 25 % hochautomatisierter Fahrzeuge wird die Fahrt im Mischverkehr von menschlichen Fahrern als ein wenig gefährlicher und unangenehmer erlebt. Obwohl sich das Verhalten einzelner hochautomatisierter Fahrzeuge in den untersuchten Autobahnabschnitten nicht deutlich von dem Verhalten menschlich gesteuerter Fahrzeuge unterscheidet, scheint sich der Verkehrsfluss mit hochautomatisierten Fahrzeugen zu ändern.

6.5.3 Behindern hochautomatisierte Fahrzeuge den Verkehr auf der Autobahn?

Nach jedem Abschnitt waren die Fahrer gefragt worden, wie gut sie vorangekommen waren und wie anstrengend die Fahrt gewesen sei. Auch hier zeigt sich, dass im Mischverkehr der Eindruck entsteht, etwas schlechter voranzukommen. Anstrengender wird die Fahrt allerdings nicht. Deskriptiv wird dieser Eindruck umso stärker, je höher die Durchdringungsrate ist. Allerdings ist der Unterschied so klein, dass er nicht signifikant wird. Damit scheint auch hier bereits eine Durchdringungsrate von 25 % so groß zu sein, dass sich der Verkehrsfluss ändert. Höhere Durchdringungsraten verändern dieses Bild nur minimal. Im Mischverkehr auf der Autobahn entsteht subjektiv der Eindruck, schlechter voranzukommen. Dies ist

vermutlich durch das defensive und sehr regelkonforme Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge zu erklären.

6.5.4 Verändert sich das Fahrverhalten menschlicher Fahrer im Mischverkehr auf der Autobahn?

In den drei Teilabschnitten mit Geschwindigkeitsbegrenzungen auf 130 km/h, 100 km/h und 80 km/h wurde der Sekundenabstand zur vorausfahrenden Fahrzeugen untersucht. Bei 130 km/h war der mittlere Sekundenabstand bei 50 % und 75 % Durchdringung signifikant kleiner, außerdem der Prozentsatz kritischer Sekundenabstände unter einer Sekunde. Bei der Geschwindigkeitsbegrenzung auf 100 km/h traten ebenfalls deutlich mehr kritische Sekundenabstände unter einer Sekunde auf bei den Durchdringungsraten 50 % und 75 %. Im Bereich der Geschwindigkeitsbegrenzung auf 80 km/h waren die minimalen und mittleren Sekundenabstände vor allem bei der hohen Durchdringungsrate von 75 % deutlich kleiner. Da die hochautomatisierten Fahrzeuge bei der Vorgabe von 130 km/h im Durchschnitt nur 100 km/h fahren, bestätigt sich damit die Vermutung, dass bei der Fahrt auf der Autobahn durch die langsamere Fahrweise und das exakte Einhalten der Geschwindigkeitsbegrenzungen dies menschlichen Fahrern zu langsam erscheint und so relativ dicht aufgefahren wird. Dabei entstehen vor allem bei höheren Durchdringungsraten von 50 % und 7% relativ häufig sehr kleine Sekundenabstände unter einer Sekunde.

In allen drei Geschwindigkeitsbereichen fahren menschliche Fahrer im Mischverkehr signifikant langsamer als bei rein menschlichem Verkehr. Dieser Effekt wird etwas stärker mit zunehmender Durchdringungsrate. Auch objektiv zeigt sich damit, dass sich der Verkehrsfluss durch hochautomatisierte Fahrzeuge ändert. Damit tragen diese Fahrzeuge tatsächlich dazu bei, die Geschwindigkeit zu senken, was unter Sicherheitsaspekten zunächst positiv zu bewerten ist. Allerdings scheint dies weniger ein Effekt des Modelllernens zu sein, sondern die auftretenden kleinen Sekundenabstände weisen darauf hin, dass die hochautomatisierten Fahrzeuge die menschlichen Fahrer eher behindern. Hier wäre interessant, längerfristige Effekte zu untersuchen, wenn man sich über mehrere Fahrten daran gewöhnt, dass der Verkehrsfluss im Mischverkehr anders ist als im rein menschlichen Verkehr. Durch das regelkonforme und defensive Fahrverhalten hochautomatisierter Fahrzeuge (exakt die

Geschwindigkeitsbegrenzung einhalten, eher langsam fahren) entstehen beim Überholen langsamer Fahrzeuge immer wieder Situationen, in denen sehr kleine Sekundenabstände auftreten, die durchaus sicherheitsrelevant sein könnten. Je höher die Durchdringungsrate ist, umso stärker wird die Geschwindigkeit der menschlichen Fahrer in Richtung einer Reduktion und bessere Einhaltung der Geschwindigkeitsbegrenzungen beeinflusst, wobei dies eher als Behinderung durch hochautomatisierte Fahrzeuge zu bewerten ist und nicht als positiver Effekt eines Lernens am Modell.

6.5.5 Ist eine Kennzeichnung hochautomatisierter Fahrzeuge im Mischverkehr zu empfehlen?

Der Einfluss der Kennzeichnung wurde mit Hilfe von drei Gruppen von Fahrern untersucht. Zwei Gruppen erhielten ausführlicher Informationen über die Funktionsweise und Grenzen hochautomatisierter Fahrzeuge und konnten deren Verhalten in bestimmten Situationen anhand von Videoaufnahmen kennenlernen. In der einen dieser beiden Gruppen waren dann im Versuch die hochautomatisierten Fahrzeuge gut sichtbar gekennzeichnet, während dies in der zweiten Gruppe nicht der Fall war. Eine dritte Gruppe wurde instruiert, dass es um den Einfluss unterschiedlicher Verkehrszustände ginge und wusste nichts von der Anwesenheit hochautomatisierter Fahrzeuge.

Weder im Erleben noch im Verhalten zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen diesen drei Gruppen. Bei der Schätzung des Anteils hochautomatisierter Fahrzeuge in den ersten beiden Gruppen war eine gute Schätzung durch die Fahrer nur mit Kennzeichnung möglich. Nur anhand des Verhaltens waren die Fahrzeuge offensichtlich nicht zuverlässig erkennbar. Bei einer fehlenden Kennzeichnung hatten zwar mehr menschliche Fahrer den Eindruck, sie könnten das Verhalten hochautomatisierter gut erkennen. Die schlechte Schätzung des Anteils hochautomatisierter Fahrer in dieser Gruppe weist aber darauf hin, dass es sich hier eher um einen subjektiven Eindruck bzw. subjektive Erwartungen über das Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge handelt, die nicht mit dem tatsächlichen Verhalten übereinstimmen. Zumindest in den hier untersuchten typischen Autobahnfahrten verändert eine Kennzeichnung weder das Verhalten noch das Erleben der menschlichen Fahrer im Mischverkehr.

Eine Kennzeichnung ermöglicht es menschlichen Fahrern, relativ genau abzuschätzen, wie viele hochautomatisierte Fahrzeuge unterwegs sind. Da das Fahrverhalten hochautomatisierter Fahrzeug nicht ausreicht, um diese zuverlässig zu identifizieren, gleichzeitig im Mischverkehr aber sehr kurze Sekundenabstände auftauchen, könnte eine Kennzeichnung es ermöglichen, das Verhalten der hochautomatisierten Fahrzeuge besser zu antizipieren und damit möglicherweise die Häufigkeit dieser kritischen Sekundenabstände zu verringern. Dieser Effekt konnte allerdings im Rahmen der einmaligen, längeren Autobahnfahrt nicht nachgewiesen werden. Hier könnten längerfristige Erfahrungen mit diesen Fahrzeugen notwendig sein.

6.6 Methodische Bewertung

6.6.1 Stichprobe

Im Rahmen dieser Studie ist es gelungen, die deutsche Fahrbevölkerung hinsichtlich der Geschlechterverteilung (43% weiblich, 57% männlich) nachzubilden (Kraftfahrtbundesamt, 2019a). Hinsichtlich der Altersverteilung ergeben sich leichte Abweichung zum aktuellen Bestand der Fahrerlaubnisse in Deutschland (Kraftfahrtbundesamt, 2019a).

Die Altersgruppe zwischen 18 und 24 Jahren ist durch die rekrutierte Stichprobe gut abgedeckt (14% gegenüber 12%), wohingegen die Altersgruppe zwischen 25 und 44 Jahren durch die rekrutierte Stichprobe überrepräsentiert wird (53% gegenüber 41%). Die Altersgruppe zwischen 45 und 64 Jahren (16% gegenüber 35%) wird in der Stichprobe unterrepräsentiert. Die Altersgruppe zwischen 65 und 75 Jahren (18% gegenüber 11%) ist in der Stichprobe überrepräsentiert.

Des Weiteren wurden keine Hinweise darauf gefunden, dass die erhobenen soziodemographischen Stichprobenmerkmale (Alter, Geschlecht, Technikaffinität, Einstellung gegenüber automatisiertem Fahren) einen Einfluss auf das Erleben und Verhalten menschlicher Fahrer im Mischverkehr auf der Autobahn hatten.

6.6.2 Versuchsbedingungen

Das Ziel dieser Studie war es, die Reaktion und Verhaltensanpassung menschlicher Fahrer an hochautomatisierte Fahrzeuge in Abhängigkeit von der Durchdringungsrate

hochautomatisierter Fahrzeuge über den Erstkontakt mit diesen Fahrzeugen hinaus zu untersuchen.

Dazu wurden vier längere Autobahnschnitte mit unterschiedlichen Durchdringungsraten automatisierter Fahrzeuge im Fahrsimulator implementiert. Die Manipulationskontrolle zeigte, dass es bis auf geringe Abweichungen insgesamt gelungen ist, den Anteil an automatisierten und manuell gesteuerten Fahrzeugen auf den vier Autobahnabschnitten gemäß den Ausprägungen im Versuchsplan umzusetzen (siehe Abbildung 30).

Die Gestaltung der Infrastruktur sowie des Fahrverhaltens automatisierter Fahrzeuge auf den Autobahnabschnitten wurde auf Basis der Aussagen von Interviews mit Experten aus der Automobilindustrie und der universitären Forschung implementiert. Auf diesen Autobahnabschnitten kamen ausschließlich Fahrsituationen und Interaktionssituationen mit anderen Fahrzeugen zustande, welche Level 3 Fahrzeuge der ersten Generation wahrscheinlich selbstständig meistern können. Die Basis bildeten die in der ersten Studie untersuchten Fahrsituationen, welche sich im Wesentlichen auf Fahrstreifenwechselsituationen und Geschwindigkeitsanpassungen beschränkten (siehe Tabelle 2). Im Gegensatz zum Vorgehen in der ersten Studie gab es hier jedoch keine Standardisierung einzelner Fahrsituationen auf den Autobahnabschnitten. Das Zustandekommen von Fahrsituationen allein vom Fahrverhalten der Probanden abhängig. Die Probanden bekamen in der vorliegenden Studie keinerlei Instruktionen bezüglich der Einhaltung eines Mindestsicherheitsabstands bzw. der Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit während der Simulatorfahrt. Dieses Vorgehen sollte den Probanden ermöglichen, ihr „natürliches“ Fahrverhalten in der Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen im Mischverkehr zu zeigen, da es vor allem um die Reaktionen menschlicher Fahrer im Mischverkehr bei häufigem Kontakt und unterschiedlicher Durchdringungsrate auf längeren Autobahnabschnitten ging.

Das Fahrverhalten automatisierter Fahrzeuge auf den Autobahnabschnitten war den vermuteten Fähigkeiten eines Level 3 Fahrzeugs prototypisch abgebildet. Aus den Experteninterviews ging hervor, dass automatisiertes Fahrverhalten innerhalb der gesetzlichen Rahmenbedingungen möglicherweise herstellerspezifische Unterschiede aufweisen wird. Ebenso weisen menschliche Fahrer eine große Bandbreite an unterschiedliche Verhaltensweisen, welche sich in verschiedenen Fahrstilen ausdrückt, auf (vgl. Taubman-Ben-Ari et al., 2004). Im Rahmen dieser

Studie war es jedoch nicht möglich, die gesamte Bandbreite an möglichen Fahrverhaltensweisen abzudecken. Das war auch nicht das Ziel dieser Studie. Vielmehr sollte der Verkehr auf den Autobahnabschnitten insgesamt einer realistischen Fahrt nachempfunden sein. Die Modellierungen automatisierten und menschlichen Fahrverhaltens ist dementsprechend als Annäherungen an reales Fahrverhalten zu verstehen. Ebenso ist trotz des hohen Grades an Realismus der Autobahnabschnitte hinsichtlich der Infrastruktur und des Fahrverhaltens der simulierten Fahrzeuge ist nicht auszuschließen, dass Probanden in der Realfahrt anders auf automatisierte Fahrzeuge und das Fahren im Mischverkehr auf der Autobahn reagieren.

Die rekrutierten Probanden verfügten im Vorfeld dieser Studie über keine persönlichen Erfahrungen mit automatisierten Fahrzeugen oder dem Fahren im Mischverkehr, da diese Systeme noch nicht am Markt verfügbar sind. Zudem ist davon auszugehen, dass die Probanden unterschiedlich viel Wissen über Automation im Allgemeinen und automatisiertes Fahren auf der Autobahn im Speziellen hatten. Aus diesem Grund wurde in zwei Versuchsgruppen im Vorfeld der Simulatorfahrt ausführlich über die Fähigkeiten und die Systemgrenzen automatisierten Fahrens informiert. Das Material für die Informationsphase stammte aus der ersten Studie und basierte inhaltlich auf den Aussagen der interviewten Experten. Mithilfe der Informationsphase wurde ein gemeinsamer Wissensstand der Probanden sichergestellt, und Vorwissen über automatisiertes Fahrverhalten in typischen Interaktionssituationen auf der Autobahn aufgebaut. Auf diese Weise wurden Probanden darin unterstützt, ein adäquates mentales Modell von automatisiertem Fahrverhalten für die späteren Begegnungen mit diesen Fahrzeugen während der Simulatorfahrt aufzubauen. Jedoch ist fraglich, ob die Informationsphase im Vorfeld der Studie den Mangel an persönlicher Erfahrungen mit automatisierten Fahrzeugen und mit dem Fahren im Mischverkehr ausreichend kompensieren konnte.

Als Kennzeichnung des automatisierten Fahrmodus wurde auf die Außenkennzeichnung mit einem blauen Lichtrechteck zurückgegriffen (siehe Abbildung 2). Die Probanden wurden über die Funktion des externen HMI in der Simulatorstudie ausführlich informiert, um auch hier Vorwissen aufzubauen. Die konkrete Ausgestaltung einer (möglichen) Außenkennzeichnung des aktuellen Fahrmodus war nicht Gegenstand der vorliegenden Studie und ist durch weitere Forschung zu klären.

7 Zusammenfassung und Antworten

Die Einführung hochautomatisierter Systeme auf der Autobahn steht kurz bevor. Diese Einführung stellt nicht nur Passagiere im Innern eines automatisierten Fahrzeugs vor neue Herausforderungen, sondern auch menschliche Fahrer im daraus resultierenden Mischverkehr. Bislang haben menschliche Fahrer noch keine Erfahrungen im Umgang mit Hochautomation auf der Autobahn, was zu neuen möglichen Risiken für die Verkehrssicherheit auf der Autobahn führen könnte, aber auch das Verkehrsklima verändern könnte. Bei der Einführung hochautomatisierter Systeme ist somit die Betrachtung der Außenperspektive menschlicher Fahrer im Mischverkehr unabdingbar.

In diesem Bericht wurden die Reaktionen und Verhaltensanpassungen menschlicher Fahrer an hochautomatisierte Fahrzeuge im Mischverkehr untersucht. Dazu wurden zunächst strukturierte Interviews mit Experten aus der Automobilindustrie und der universitären Forschung durchgeführt, um realistische Annahmen über die Fähigkeiten und Systemgrenzen hochautomatisierter Fahrzeuge der ersten Generation zu treffen sowie über relevante Fahrsituationen, in denen Begegnungen mit menschlichen Fahrern auf der Autobahn zu erwarten sind. Hierbei lag der Fokus auf Fahrsituationen, welche innerhalb der Systemgrenzen hochautomatisierter Fahrzeuge der ersten Generation liegen, d.h. die die hochautomatisierten Fahrzeuge ohne eine Übernahme der Fahraufgabe durch den menschlichen Fahrer lösen können. Darüber hinaus wurde in den Interviews auch die Diskussion um eine Außenkennzeichnung hochautomatisierter Fahrzeuge aufgegriffen.

In den Interviews wurde deutlich, dass hochautomatisiertes Fahren zunächst in wenigen Fahrsituationen auf der Autobahn möglich sein wird. In Fahrsituationen innerhalb der Systemgrenzen werden sich hochautomatisierte Fahrzeuge durch ihr regelkonformes, sehr defensives Fahrverhalten von anderen menschlichen Fahrern im Mischverkehr unterscheiden. Darüber hinaus werden hochautomatisierte Fahrzeuge möglicherweise nach außen als solche gekennzeichnet sein, wobei hier eine Kennzeichnung des aktuellen Fahrmodus als auch der generellen Fähigkeit zum automatisierten Fahren denkbar sind. Auf Basis der Expertenaussagen wurden realistische Fahrszenarien entworfen und im Fahr Simulator implementiert. Zur Untersuchung der Reaktion und Verhaltensanpassung menschlicher Fahrer an automatisierte Fahrzeuge im Mischverkehr auf der Autobahn zu untersuchen, wurden

zwei Fahrsimulatorstudien im statischen Fahrsimulator der TU Braunschweig durchgeführt.

Der Fokus der ersten Studie lag auf dem Erstkontakt mit hochautomatisierten Fahrzeugen in vier ausgewählten Fahrsituationen, welche Fahrstreifenwechsel und die Einführung von Geschwindigkeitsbeschränkungen beinhalteten. Die Bandbreite menschlichen und automatisierten Fahrverhaltens wurde mit Hilfe von jeweils zwei Verhaltensvarianten prototypisch abgebildet. Dabei zeichnete sich hochautomatisiertes Fahrverhalten durch defensives Fahren mit großen Sekundenabständen und absolute Regelkonformität bei Geschwindigkeitsbegrenzungen aus, wohingegen menschliches Fahrverhalten weniger regelkonform und offensiver war. Im Rahmen der ersten Studie wurden die Forschungsfragen untersucht, ob menschliche Fahrer hochautomatisierte Fahrzeuge in diesen speziellen Fahrsituationen an ihrem Fahrverhalten erkennen können, ob das hochautomatisierte Fahrverhalten unangenehm oder gefährlich erlebt wird, ob es als Reaktion auf dieses Verhalten zu risikoreichen oder gefährlichen Situationen kommt und ob eine Kennzeichnung hochautomatisierter Fahrzeuge zu empfehlen ist.

In der zweiten Studie lag der Fokus auf dem häufigen Kontakt menschlicher Fahrer mit hochautomatisierten Fahrzeugen auf längeren Autobahnfahrten. Dazu wurden vier Autobahnabschnitte mit unterschiedlichen Durchdringungsraten hochautomatisierter Fahrzeuge untersucht. Im Unterschied zum Vorgehen der ersten Studie wurden in der zweiten Studie keine einzelnen Interaktionen mit Fahrzeugen analysiert, sondern die Fahrten im Mischverkehr auf den vier Autobahnabschnitten. Im Rahmen dieser Studie wurde untersucht, ob die unterschiedliche Durchdringungsrate auch entsprechend eingeschätzt wird, ob der Mischverkehr unangenehmer oder gefährlicher erlebt wird, ob hochautomatisierte Fahrzeuge den Verkehrsfluss auf der Autobahn behindern, ob sich dadurch das Fahrverhalten menschlicher Fahrer ändert, sodass risikoreiche oder kritische Situationen entstehen und ob eine Kennzeichnung hochautomatisierter Fahrzeug im Mischverkehr zu empfehlen ist.

Über beide Studien ergaben sich zusammenfassend folgende Antworten zu diesen Fragen:

- Das Fahrverhalten der hochautomatisierten Fahrzeuge liegt innerhalb der Bandbreite menschlichen Fahrverhaltens. Wenn man in einzelnen Situationen das Verhalten genau beobachtet und die Interaktion mit diesen Fahrzeugen erlebt, ist es allerdings den meisten Fahrern recht gut möglich, ein

hochautomatisiertes Fahrzeug von einem menschlich geführten Fahrzeug zu unterscheiden.

- Bei längeren Fahrten im Mischverkehr auf der Autobahn scheint eine gute Abschätzung, wie vielen hochautomatisierten Fahrzeugen man begegnet ist, dagegen nur schlecht möglich zu sein. Dies ist vermutlich dadurch bedingt, dass man nicht bei jedem dieser Fahrzeuge ein entsprechendes Manöver bzw. eine Interaktion mit diesem Fahrzeug erlebt.
- Eine Kennzeichnung der hochautomatisierten Fahrzeuge ermöglicht eine recht genaue Schätzung der Durchdringungsrate und erleichtert es, das Verhalten dieser Fahrzeuge zu erlernen und zu antizipieren.
- Das ungewohnt defensive und regeltreue Verhalten der hochautomatisierten Fahrzeuge führt in einzelnen Situationen, insbesondere bei der Folgefahrt bei Geschwindigkeitsbegrenzungen zu sehr kleinen, sicherheitsrelevanten Sekundenabständen. Diese kleineren Sekundenabstände finden sich auch bei längeren Fahrten auf der Autobahn, insbesondere bei höheren Durchdringungsraten ab 50 %.
- Diese kleinen Sekundenabstände entstehen vermutlich, weil menschliche Fahrer nicht damit rechnen, dass die hochautomatisierten Fahrzeuge so langsam und vor allem regeltreu im Hinblick auf Geschwindigkeitsbegrenzungen fahren, dabei insbesondere sehr frühzeitig verzögern, um am Schild die zulässige Höchstgeschwindigkeit zu erreichen und diese dann exakt einhalten. Gerade wenn Fahrer abgelenkt oder unaufmerksam sind, könnte dies zu Auffahrunfällen führen.
- Eine Kennzeichnung hochautomatisierter Fahrzeuge wäre von da her zu empfehlen, um es menschlichen Fahrern zu ermöglichen, dieses Verhalten zu antizipieren und damit das dichte Auffahren zu vermeiden. Dieser Effekt konnte allerdings bei den längeren Fahrten auf der Autobahn nicht nachgewiesen werden. Vermutlich ist hier längere Erfahrung notwendig, um entsprechende Erwartungen aufzubauen. Damit dies erlernt werden kann, ist eine Kennzeichnung aber notwendig, sodass diese Art von Verhalten auch den hochautomatisierten Fahrzeugen sicher zugeordnet werden kann. Die Kennzeichnung ist weiter notwendig, damit die Fahrer aufgrund der Kennzeichnung das Verhalten vorhersagen können, ihr eigenes Verhalten

anpassen können und nicht erst auf das unerwartete Verhalten reagieren, was vermutlich zu diesen kleinen Sekundenabständen führt.

- Die Kennzeichnung darf allerdings nicht das Fahrzeug an sich betreffen, sondern muss anzeigen, dass sich das Fahrzeug aktuell im hochautomatisierten Modus befindet, in dem es ein bestimmtes hochautomatisiertes Verhalten zeigt. Wenn ein menschlicher Fahrer gerade fährt, sollte dies entsprechend auch von außen gut erkennbar sein, um hier nicht falsche Erwartungen zu wecken.
- In einzelnen Interaktionssituationen beim Einfädeln, Spurwechsel und Überholen wird das Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge auf der Autobahn als angenehm und kooperativ erlebt und eher positiv bewertet. Selbst die genaue Einhaltung der Geschwindigkeitsbegrenzung in einer Folgefahrt wird nur als wenig ärgerlich erlebt. Bei längeren Fahrten im Mischverkehr wird allerdings bereits ab einer geringen Durchdringungsrate von 25 % die Fahrt als ein wenig gefährlicher und etwas unangenehmer bewertet. Die Fahrer haben dabei den Eindruck, im Mischverkehr schlechter voranzukommen. Vermutlich werden auch die auftretenden kleineren Sekundenabstände von den Fahrern wahrgenommen, sodass dieser Eindruck einer etwas höheren Gefährlichkeit und von unangenehmen Situationen entsteht. Eine Kennzeichnung der Fahrzeuge änderte diesen Eindruck nicht. Möglicherweise sind hier längerfristige Lernprozesse notwendig. Allerdings können auch diese nicht den Eindruck verhindern, gerade bei Geschwindigkeitsbegrenzungen behindert zu werden.

Zusammenfassend zeigen beide Studien, dass hochautomatisierte Fahrzeuge auf der Autobahn dazu beitragen, die Geschwindigkeiten zu reduzieren und Geschwindigkeitsbegrenzungen besser einzuhalten. Beim Einfädeln, Spurwechsel und Überholen wirkt das Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge angenehm defensiv und kooperativ. Im Verkehrsfluss werden von menschlichen Fahrern hochautomatisierte Fahrzeuge allerdings als Behinderung erlebt, sodass die prinzipiell sicherheitsfördernde Wirkung der reduzierten Geschwindigkeit durch dabei entstehende sicherheitskritische Sekundenabstände verringert werden könnte. Eine entsprechende Abschätzung der Gesamtwirkung ist auf Basis der vorliegenden Studien allerdings nicht möglich. Eine Kennzeichnung des aktuellen Fahrmodus der hochautomatisierten Fahrzeuge könnte dazu beitragen, dass Fahrer das Verhalten der

hochautomatisierten Fahrzeuge besser vorhersehen können, sodass die kleineren Sekundenabstände vermieden werden könnten. Dazu sind aber vermutlich längere Lernprozesse notwendig, die im Rahmen der vorliegenden Studien nicht realisiert werden konnten. Der Eindruck der Behinderung wird durch eine solche Kennzeichnung allerdings nicht aufzuheben sein. Dies könnte aber dazu beitragen, die Akzeptanz hochautomatisierter Fahrzeuge zu erhöhen, um sich damit selbst hochautomatisiert fahren zu lassen und auf diese Weise die vielleicht etwas längere Fahrzeit dann mit sinnvollen Nebentätigkeiten besser nutzen zu können.

8 Literatur

- Aeberhard, M., Rauch, S., Bahram, M., Tanzmeister, G., Thomas, J., Pilat, Y., Himm, F., Huber, W., & Kaempchen, N. (2015). Experience, Results and Lessons Learned from Automated Driving on Germany's Highways. *Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE*, 7(1), 42-57. <https://doi.org/10.1109/MITS.2014.2360306>
- Alexander, G. J., & Lunenfeld, H. (1979). Positive guidance in traffic control. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 23rd Annual Meeting*. Santa Monica, USA.
- Bansal, P., & Kockelman, K. (2017). Forecasting Americans' long-term adoption of connected and autonomous vehicle technologies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 95, 49-63.
- Bansal, P., Kockelman, K., & Singh, A. (2016). Assessing public opinions of and interest in new vehicle technologies: An Austin perspective. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.01.019>
- Bazilinskyy, P., Dodou, D., & de Winter, J. (2019). Survey on eHMI concepts: The effect of text, color, and perspective. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 67, 175-194. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.10.013>
- Bellem, H., Schönenberg, T., Krems, J., & Schrauf, M. (2016). Objective metrics of comfort: Developing a driving style for highly automated vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 41, 45-54. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.02.036>
- 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.
- BMW AG (n.d.). Autonomes Fahren. <https://www.bmw.de/de/topics/faszination-bmw/bmw-autonomes-fahren.html>
- Brown, B., & Laurier, E. (2017). The trouble with autopilots: Assisted and autonomous driving on the social road. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, May 6-11 2017, Denver. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025462>

Chauvin, C., & Saad, F. (2000). Interaction and communication in dynamic control tasks: ship handling and car driving. *Proceedings of the International Conference on Traffic and Transportation Psychology – ICTTP 2000*, 101-111.

Continental (2013). Continental Mobilitätsstudie 2013. <https://www.continental-corporation.com/resource/blob/12762/1ab71f91b3ae8246a404ae2562eef976/mobilitaetsstudie-2013-data.pdf>.

Daimler AG. (n.d.). Autonomes Fahren. <https://www.daimler.com/innovation/autonomes-fahren/special/video-autonomes-fahren.html>

Frehse, B. (2015). *Kognitive Bewertungsdimensionen von Ärger im Straßenverkehr* [Dissertation, Leuphana Universität, Lüneburg]. <http://opus.uni-lueneburg.de/opus/volltexte/2015/14336/>

Franke, T., Attig, C., & Wessel, D. (2019). A Personal Resource for Technology Interaction: Development and Validation of the Affinity for Technology Interaction (ATI) Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 35(6), 456-467. <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1456150>

Gasser, T.M., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Bürkle, L., Eier, J., Flemisch, F., Häcker, D., Hesse, T., Huber, W., Lotz, C., Maurer, M., Ruth-Schumacher, S., Schwarz, J., Vogt, W. (2012). Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen – Fahrzeugtechnik F. Unterreihe Fahrzeugtechnik*, (83). Wissenschaftsverlag. NW Verlag. Für neue Wissenschaft.

GATEway Projekt (2017). Driver responses to encountering automated vehicles in an urban environment. Project report PPR807. <https://gateway-project.org.uk/wp-content/uploads/2017/02/Driver-responses-to-encountering-automated-vehicles-in-an-urban-environment-1.pdf>

Hartwich, F., Beggiano, M., & Krems, J. (2018). Driving comfort, enjoyment and acceptance of automated driving – effects of drivers' age and driving style familiarity. *Ergonomics*, 61(8), 1017-1032. <https://doi.org/10.1080/00140139.2018.1441448>

Hartwich, F., Beggiano, M., Dettmann, A., & Krems, J. (2015). Drive Me Comfortable-Customized Automated Driving Styles for Younger and Older Drivers. *8. VDI-Tagung - Der Fahrer im 21. Jahrhundert*, 271-283.

Hauß, Y. & Timpe, K.-P. (2000). Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kohlrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation*. (S.41-62). Düsseldorf: Symposion.

Hensch, A. C., Neumann I., Beggiano M., Halama J., & Krems J. F. (2020). How Should Automated Vehicles Communicate? – Effects of a Light-Based Communication Approach in a Wizard-of-Oz Study. In N. Stanton (Ed.), *Advances in Human Factors of Transportation. AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 964, pp. 79-91). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20503-4_8

Josten, J., Kotte, J. & Eckstein, L. (2019). Expectations of Non-automated Road Users for Interactions in Mixed Traffic. In N. Stanton (Ed.), *Advances in Human Aspects of Transportation. AHFE 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 786, pp. 469-480). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93885-1_42

Kiss, M., & Lepczyk, D. (2019). Mensch und Fahrzeug in unterschiedlichen Automatisierungsstufen. In R. Bruder & H. Winner (Eds.), *Hands off, Human Factors off? Welche Rolle spielen Human Factors in der Fahrzeugautomation?* 9. Darmstädter Kolloquium. Technische Universität Darmstadt, 2.-3. April 2019.

Kraftfahrtbundesamt (2019a). Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2019. https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html

Kraftfahrtbundesamt (2019b). Jahresbilanz der Neuzulassungen 2017. https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Ueberblick_archiv/2017_neuzulassungen_node.html

Krueger, H.-P., Grein, M., Kaussner, A., & Mark, C. (2005). SILAB – a task-oriented driving simulation. *Proceeding of the driving simulator conference* (pp. 232-331).

Litman, T. (2015). Autonomous vehicle implementation predictions: Implications for transport planning. In Transportation Research Board (TRB) 94th Annual Meeting. Washington, D.C.

Louw, T., Merat, N. & Jamson, H. (2015). Engaging with Automation: To be or not to be in the loop? *Proceedings of the 8th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*.

L3 Pilot Projektkonsortium (2017). Piloting Automated Driving on European roads. https://l3pilot.eu/fileadmin/user_upload/Downloads/Project_Information/L3Pilot_Factsheet_v2.0_WEB.pdf

Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12. Auflage). Beltz.

Mercedes-Benz USA (n.d.). Mercedes-Benz F015 Luxury in Motion. <https://www.mercedes-benz.com/de/innovation/forschungsfahrzeug-f-015-luxury-in-motion/> [03.09.2019].

Millard-Ball, A. (2018). Pedestrians, autonomous vehicles, and cities. *Journal of Planning Education and Research*, 38(1), 6-12. <https://doi.org/10.1177/0739456X16675674>

Neukum, A., Lübbecke, T., Krüger, H.-P., Mayser, C. & Steinle, J. (2008). ACC-Stop&Go: Fahrerverhalten an funktionalen Systemgrenzen. In M. Maurer & C. Stiller (Eds.), 5. *Workshop Fahrerassistenzsysteme – FAS 2008* (pp.141-150). fmrt.

Nielsen, T. A. & Haustein, S. (2018). On sceptics and enthusiasts: What are the expectations towards self-driving cars? *Transport Policy*, 66, 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.03.004>

Nyholm, S., & Smids, J. (2018). Automated cars meet human drivers: responsible human-robot coordination and the ethics of mixed traffic. *Ethics and Information Technology*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10676-018-9445-9>

Parkin, J., Clark, B., Ricci, M., & Parkhurst, G. (2016). Understanding interactions between autonomous vehicles and other road users: A literature review. <http://eprints.uwe.ac.uk/29153>

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. Der Weg zum automatischen Fahren.*

Powelleit, M., Winkler, S., & Vollrath, M. (2019). Cooperation through communication – Using headlight technologies to improve traffic climate. In D. de Waard, K. Brookhuis, D. Coelho, S. Fairclough, D. Manzey, A. Naumann, L. Onnasch, S. Röttger, A. Toffetti, & R. Wiczorek (Eds.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2018 Annual Conference* (pp. 149-160).

Preuk, K., Dotzauer, M., & Jipp, M. (2018). Should drivers be informed about the equipment of drivers with green light optimal speed advisory (GLOSA)? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *58*, 536–547. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.040>

Preuk, K., Stemmler, E. & Jipp, M. (2016a). Does surrounding traffic benefit from an assisted driver with traffic light assistance system? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *43*, 302-314. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.09.008>

Preuk, K., Stemmler, E., Schießl, C., & Jipp, M. (2016b). Does assisted behavior lead to safety-critical encounters with unequipped vehicles' drivers? *Accident Analysis and Prevention*, *95*, 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.07.003>

Radlmayr, J., Gold, C., Lorenz, L., Farid, M., & Bengler, K. (2014). How Traffic Situations and Non-Driving Related Tasks Affect the Take-Over Quality in Highly Automated Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 58(1), pp. 2063-2067). SAGE Publications.

Rothenbücher, D., Li, J., Sirkin, D., Mok, B., & Ju, W. (2016). Ghost driver: A field study investigating the interaction between pedestrians and driverless vehicles. *25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, 795-802. <https://www.doi.org/10.1109/ROMAN.2016.7745210>

Rouchitsas, A., & Alm, H. (2019). External Human Machine Interfaces for autonomous vehicle-to-pedestrian communication: A review of empirical work. *Frontiers in Psychology*, *10*. Article: 2757. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02757>

Schieben, A., Willbrink, M., Kettwich, C., Madigan, R., Louw, T., & Merat, N. (2019). Designing the interaction of automated vehicles with other traffic participants: design considerations based on human needs and expectations. *Cognition, Technology and Work*, *21*, 69-85. <https://doi.org/10.1007/s10111-018-0521-z>

Society of Automotive Engineers (2018). SAE International Releases Updated Visual Chart for Its “Levels of Driving Automation” Standard for Self-Driving Vehicles. <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-“levels-of-driving-automation”-standard-for-self-driving-vehicles>

Taubman-Ben-Ari, O., Mikulincer, M., & Gillath, O. (2004). The multidimensional driving style inventory – scale construct and validation. *Accident Analysis and Prevention*, *36*(3), 323-332. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(03\)00010-1](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(03)00010-1)

Trimble, T. E., Bishop, R., Morgan, J. F., & Blanco, M. (2014). Human factors evaluation of level 2 and level 3 automated driving concepts: Past research, state of automation technology, and emerging system concepts (No. DOT HS 812 043).

Van Loon, R. J., & Martens, M. H. (2015). Automated driving and its effect on the safety ecosystem: How do compatibility issues affect the transition period? *Procedia Manufacturing*, 3, 3280–3285. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.401>

Verband der Automobilindustrie [VDA] (n.d.). Automatisiertes Fahren. <https://www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/automatisiertes-fahren/automatisiertes-fahren.html>.

Vogel (2003). A comparison of headway and time to collision as safety indicators. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 427-433. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(02\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00022-2)

Vogelpohl, T., Kühn, M., Hummel, T., Gehlert, T. & Vollrath, M. (2018). Transitioning to manual driving requires additional time after automation deactivation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 55, 464-482. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.03.019>

Vogelpohl, T., Kühn, M., Hummel, T. & Vollrath, M. (2019). Asleep at the automated wheel—Sleepiness and fatigue during highly automated driving. *Accident Analysis and Prevention*, 126, 70-84. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.013>

Vogelpohl, T., Vollrath, M., Kühn, M., Hummel, T. & Gehlert, T. (2016). Übergabe von hochautomatisiertem Fahren zu manueller Steuerung. Teil 1: Review der Literatur und Studie zu Übernahmezeiten. GDV Forschungsbericht Nr. 39. GDV Verlag.

Wachenfeld, W., Winner, H., Gerdes, C., Lenz, B., Maurer, M., Beiker, S. A., Fraedrich, E., & Winkle, T. (2015) Use-Cases des autonomen Fahrens. In M. Maurer, J. Gerdes, B. Lenz, & H. Winner (Eds.), *Autonomes Fahren* (pp.9–37). Springer Vieweg.

Wiedemann, R. (1974). *Simulation des Straßenverkehrsflusses*. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe.

WIVW (2017). Dokumentation SILAB Version 6.0. Referenz TRFX. WIVW Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften GmbH.

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. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.02.023>

Ziegler, J., Bender, P., Schreiber, M., Lategahn, H., Strauss, T., Stiller, C., Dang, T., Franke, U., Appenrodt, N., Keller, C.G., Kaus, E., Herrtwich, R.G., Rabe, C., Pfeiffer, D., Lindner, F., Stein, F., Erbs, F., Enzweiler, M., Knöppel, C., ... Hein, M. (2014). Making Bertha Drive? An Autonomous Journey on a Historic Route. *Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE*, 6(2), 8–20. <https://doi.org/10.1109/MITS.2014.2306552>

Zmud, J., Dias, F., Laveri, P., Bhat, C., Pendyala, R., Shiftan, Y., Outwater, M., & Lenz, B. (2019). Research to Examine Behavioral Responses to Automated Vehicles. In G. Meyer, & S. Beiker (Eds.), *Road Vehicle Automation 5. Lecture Notes in Mobility* (pp. 53–67). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94896-6_5

9 Anhang

9.1 Zusammenfassung der strukturierten Experteninterviews

In welchen Fahrumgebungen (z.B. Autobahn, dort bestimmte Streckenabschnitte) werden sich hochautomatisierte Fahrzeuge auf SAE Level 3 finden?

- Ausschließlich Autobahn bzw. autobahnähnliche Strecken

Sind dies ausschließlich Autobahnen/autobahnähnliche Straßen? Sind alle Autobahnen in allen Abschnitten geeignet (bestimmte Mindestanforderungen; Baustellen; Kreuze, Auf- und Abfahrten, alle Fahrstreifen)?

- Baustellen sind in ihrer Gestaltung (Fahrbahnmarkierungen, Fahrbahnbreite etc.) sehr unterschiedlich, sodass das System Schwierigkeiten haben wird, zuverlässige Vorhersagen zu treffen. Es wird dementsprechend eine Übergabe an den Fahrer stattfinden. Denkbar sind hier jedoch auch Unterscheidungen in verschiedene Versionen der Automatisierung, sodass höherklassige Fahrzeuge Baustellen automatisiert durchfahren.
- Hochautomatisierte Fahrzeuge werden alle Fahrstreifen benutzen, unter Einhaltung des Rechtsfahrgebots.
- Bei Autobahnkreuzen sind die Experten uneinig.
- Auf- und Abfahrten sind Übergabesituationen, welche das hochautomatisierte System mit dem aktuellen Stand der Technik nicht selbstständig lösen kann.

Was ist im Stau, bei Unfällen, mit der Rettungsgasse?

- Stau- und Kolonnenverkehr (bis 60 km/h) sind das Einführungsszenario für hochautomatisierte Systeme auf der Autobahn. Das System sollte in der Lage sein, vorhersehbare Staus selbstständig zu bewältigen. Unklar ist aktuell jedoch, wie das System auf Staubildung reagiert.
- Hochautomatisierte Fahrzeuge müssen in der Lage sein, selbstständig eine Rettungsgasse zu bilden.
- Bei Unfällen, welche von der Polizei abgesichert werden, wird das hochautomatisierte Fahrzeug an den Fahrer übergeben.
- Der nächste Schritt ist das freie Fahren auf der Autobahn, hierbei ist eine Höchstgeschwindigkeit von bis zu 130 km/h (Richtgeschwindigkeit) vorgesehen.

In welchem Zeithorizont wird eine Einführung im urbanen Raum absehbar?

- Vermutlich hier auch ein aufbauendes Vorgehen, sodass der Begriff urbaner Raum noch in unterschiedliche Aspekte unterteilt werden muss.
- Denkbar wäre generell eine Einführung in Bereichen mit weniger unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern oder auf weniger komplexen Straßensystemen wie etwa Landstraßen, bevor eine Zulassung im urbanen Raum erfolgt.

Wie reagiert das System auf unterschiedliche Wetterbedingungen?

- Übernahme situation bei durch Regen oder Nebel behinderten Sensor.
- Erkennung von Glätte bisher nicht eindeutig. Bei bevorstehendem Gewitter ebenfalls Übernahme durch Menschen.

Kennzeichnung von automatisierten Fahrzeugen

- Hier könnte eine Unterscheidung zwischen Nutzung im urbanen Raum und auf der Autobahn denkbar sein. Möglicherweise wäre eine Kennzeichnung jedoch nicht herstellerabhängig, sondern gesetzlich vorgeschrieben. Allerdings sind sich die Experten hier uneinig, da es Bedenken gibt, dass Sicherheitslücken auch durch eine Kennzeichnung entstehen können.

Wird es für menschliche Autofahrer im Mischverkehr auf den ersten Blick von außen erkennbar sein, dass es sich bei einem Fahrzeug um ein automatisiertes Level 3 Fahrzeug handelt? Wie?

- Auf den ersten Blick ist das hochautomatisierte Fahrzeug auf der Autobahn wahrscheinlich nicht identifizierbar, jedoch zeichnet es sich durch eine stets regelkonforme, vorsichtige Fahrweise aus, welche man so von menschlichen Fahrer nicht gewohnt ist.

Kann man erkennen, ob das hochautomatisierte Fahren gerade aktiv ist oder ob der Mensch fährt?

- Am Verhalten des Fahrzeugführers wird dies erkennbar sein.

Wird es eine Kennzeichnung für automatisierte Level 3 Fahrzeuge geben (z.B. External HMI durch Lichtanzeige am Fahrzeug)? Wie wird diese aussehen? Wird dies einheitlich für alle Marken sein?

- In der Literatur ist das Thema Kennzeichnung Gegenstand einer aktuellen Diskussion: einerseits könnte es andere menschliche Fahrer zu riskanten Fahrmanövern animieren, andererseits verstärkt zu vorsichtigem Verhalten auffordern.
- Die Experten sehen keine zwingende Notwendigkeit einer Kennzeichnung für Level 3 Fahrzeuge auf der Autobahn.

Bandbreite menschlichen Verhaltens / Relevante Verkehrssituationen

In diesem Abschnitt geht es darum, inwiefern sich hochautomatisierte Fahrzeuge in bestimmten Situationen möglicherweise anders verhalten als dies menschliche Fahrer tun. Zunächst geht es um das Grundverhalten.

Ist davon auszugehen, dass sich automatisierte Level 3 Fahrzeuge absolut regelkonform verhalten?

- Es ist davon auszugehen, dass gesetzliche Vorgaben eingehalten werden.
- Jedoch können Artefakte entstehen, wenn ein Fahrzeug länger braucht, auf eine bestimmte Geschwindigkeit abzubremsen, um den folgenden Verkehr nicht durch Starkbremsungen zu gefährden.

Ganz konkret: Wie genau wird die Geschwindigkeitsbegrenzung eingehalten? Wann beginnt das Fahrzeug, zu verzögern? Wann beschleunigt es wieder? Wie stark beschleunigt und verzögert es?

- Die Geschwindigkeitsbegrenzungen müssen eingehalten werden, sodass das Fahrzeug am Schild die entsprechende Geschwindigkeit fährt. Allerdings kann eine Vollbremsung in Hinblick auf rückwärtigen Verkehr gefährlich sein, sodass hier Rücksicht genommen werden muss und Artefakte entstehen könnten.
- Das Fahrzeug beschleunigt innerhalb der menschlichen Bandbreite bzw. Komfortwerten für longitudinale Beschleunigung. Wenn es erforderlich ist, bremst das Fahrzeug stärker.

Welche Abstände halten hochautomatisierte Fahrzeuge? Wie und wie schnell reagieren sie, wenn der Vorderfahrer bremst oder beschleunigt?

- Ähnliche Abstände innerhalb der ACC Grenzen sind denkbar, andererseits müssen gesetzliche Vorgaben eingehalten werden. In späteren Versionen könnte Möglichkeit für den Fahrer bestehen, auf Abstand zu weiteren Fahrzeugen innerhalb des rechtlichen Rahmens Einfluss zu nehmen.

Wie ist die Spurhaltung der hochautomatisierten Fahrzeuge? Fahren diese immer perfekt in der Mitte des Fahrstreifens?

- Diese Frage war von den Experten nicht eindeutig zu beantworten. Es ist möglich, dass die Spurmitte nicht zu jedem Zeitpunkt perfekt gehalten wird, aber der Versatz liegt wahrscheinlich innerhalb der menschlichen Bandbreite.
- Ein dauerhafter Spurversatz könnte den Fahrer des Fahrzeugs irritieren.

Wie steht es um die Vorausschau hochautomatisierter Fahrzeuge? Wird so etwas wie ein Gefahrenpotenzial berechnet, wo dann langsamer gefahren wird? Denken Sie jetzt bitte über verschiedene Fahrmanöver nach, bei denen hochautomatisierte Fahrzeuge mit menschlichen Fahrern interagieren.

Was sind hier realistische, typische Interaktionen? Wie verhält sich das hochautomatisierte Fahrzeug in dieser Situation? Können Sie das Verhalten der hochautomatisierten Fahrzeuge in diesen Situationen genauer beschreiben? (Für jede genannte Situation)

- Überholsituationen
 - ✓ System wird Spurwechsel einleiten, wenn langsames Fahrzeug rechts fährt, sodass der Überholvorgang stattfinden kann.
 - ✓ Anfangs werden Spurwechsel konservativer durchgeführt werden, sodass lediglich sehr große Lücken genutzt werden. Beim Spurwechsel vertraut das System nicht auf die Kooperationsbereitschaft anderer Fahrzeuge und berechnet wie lange eine Lücke offen sein wird.
- Überholsituation initiiert durch Lkw
 - ✓ Antizipationsfunktion des Spurwechselwunsches existiert bereits bei ACC, das System sollte dies ebenfalls mitbekommen.
- Überholenden einsichern lassen

- ✓ Das System wird eher auf den Fahrspurwechsel und nicht auf den Blinker reagieren, die soziale Situation kann vom System nicht so wahrgenommen und analysiert werden wie von einem menschlichen Fahrer.
- Reißverschlussverfahren
 - ✓ Das System ist hier noch nicht erprobt, sodass es zur Übernahme kommt.
- Drängler/Raser
 - ✓ Sofern möglich, wird das System sich StVO konform an das Rechtsfahrgebot halten. Schert ein anderes Fahrzeug direkt vor dem automatisierten Fahrzeug ein, wird der Sicherheitsabstand langsam aufgebaut.
- Gefahrenwarnung Lkw rast in Stauende
 - ✓ System lässt sich nicht aus der Ruhe bringen, allerdings gibt es in einer solchen Situation wenige Ausweichmöglichkeiten. Problematisch könnte hierbei ebenfalls sein, dass das Fahren auf den Standstreifen nicht StVO konform ist, sodass ein Ausweichen des Systems dieser Art unwahrscheinlich ist.

Was macht es möglicherweise anders als menschliche Fahrer?

- Es zeigt stets StVO konformes Verhalten, welches als Bedingung für die Einführung hochautomatisierter Systeme ist (Beispiel: Rechtsfahrgebot und Rettungsgasse)

Sind dabei Interaktionen vorgesehen / geplant?

(Bsp.: Beim Einfädeln blinkt das hochautomatisierte Fahrzeug frühzeitig. Wenn das Fahrzeug auf der Autobahn Lichthupe gibt oder verzögert oder den Fahrstreifen wechselt, wird eingefädelt)

- Von einem frühzeitigen Blinken des Systems wird ausgegangen, allerdings kann eine Lichthupe gemischte Signale senden, sodass von der Nutzung dieser versucht wird, abzusehen.

Ist vorgesehen, dass das Fahrzeug auf ein bestimmtes Verhalten menschlicher Fahrer reagiert?

(Bsp.: Hinterfahrzeug drängelt auf der linken Spur, automatisiertes Fahrzeug bricht Überholmanöver ab und fährt auf die rechte Spur)

- Vermutung der Experten besteht darin, dass ein Drängeln durch Betätigung des Blinkers nicht als StVO-konformes Verhalten zählt und das System daher keinen Algorithmus besitzt, der auf ein solches Drängeln reagiert.

Ist vorgesehen, dass das Fahrzeug aktiv bei menschlichen Fahrern „anfragt“?

- Nein, das ist nicht vorgesehen. Das hochautomatisierte System wird sich zunächst eher reaktiv verhalten.

Hochautomatisierte Fahrzeuge werden über Kommunikationsmöglichkeiten verfügen. Wird dies auch genutzt werden? Werden sich zwei oder mehr hochautomatisierte Fahrzeuge untereinander abstimmen, z.B. beim Einfädeln, beim Überholen, im Stau?

- Es wird keine direkt Car-2-Car Kommunikation geben, allerdings werden Informationen über die derzeitige Verkehrslage über einen Backend Server an die Fahrzeuge kommuniziert.
- So können beispielsweise Staus vorhergesehen werden.

Führt dies zu einem veränderten Verhalten?

Fahren diese Fahrzeuge möglicherweise in Pulks? Was ist dabei anders als bei menschlichen Gruppen von Fahrzeugen?

- Ein Platooning ist für Pkw nicht vorgesehen.

Markenspezifisches

Wird sich ein hochautomatisiertes Fahrzeug von Automobilhersteller A von einem Level 3 von Automobilhersteller B in seiner Fahrweise unterscheiden?

- Im Rahmen Ausgestaltungsmöglichkeiten kann es markenspezifische Unterschiede in der Fahrdynamik (z.B. Beschleunigung & Verzögerung) geben, jedoch müssen diese innerhalb von gesetzlichen Rahmenbedingungen liegen.
- Möglich ist ebenso, dass jeder Hersteller dem Kunden mehrere Fahrzeugtypen bzw. Fahrzeuge mit unterschiedlichen Fahrstilen zur Auswahl stellt.
 - ✓ Hierbei wäre denkbar, dass die unterschiedlichen Fahrzeugtypen auch unterschiedliche Situationen autonom meistern.

Übernahmesituationen

Welche Fahrsituationen/Fahrmanöver wird ein hochautomatisiertes Fahrzeug auf der Autobahn zunächst nicht meistern können?

- Fehlende Fahrspurmarkierungen führen wohl, genau wie bereits genannte Wetterbedingungen zur Übernahme durch den menschlichen Fahrer.
- Eine Übernahme geschieht wohl auch bei fehlender baulicher Trennung der gegenläufigen Fahrspuren.
- Hindernisse auf der Fahrbahn und zu geringe Kurvenradien führen zur Übernahme.
- Personen auf der Fahrbahn (sei es in Mautstationen oder Grenzübergängen) führen ebenfalls zur Übernahme.

Wie kann der Fahrer die Übernahme auslösen (z.B. HMI oder Bremsen)?

- Möglich ist die Initiierung der Übernahme von Seiten des Fahrers durch einen dezidierten Knopf oder Hebel, außerdem durch Übersteuern (z.B. Bremsen und/oder Lenken). Es kann zu Unterschieden zwischen Herstellern kommen.

Ist die Gestaltung der Übernahme durch Fahrerverhalten X einheitlich für alle automatisierten Fahrzeuge vorgesehen?

- Bei der Gestaltung der Übernahme kann es markenspezifische Unterschiede geben, z.B. verschiedene Knopfsysteme zur Abschaltung. Das ist eine Herstellerentscheidung.
- Unabhängig vom Hersteller sollte jedoch auch möglich sein, durch Lenken und/oder Bremsen zu übersteuern. Hier könnte das System jedoch verpflichtet sein, noch einmal nachzufragen, ob eine Übernahme tatsächlich erwünscht ist.
- Bei nicht regulärem Wechsel sind Warnblinker und Bremsruck auch für andere Fahrzeuge erkennbar.

Inwieweit wird das Fahrzeug den Fahrer nach der Übernahme weiter unterstützen (z.B. durch Assistenzsysteme)?

- Die Assistenzsysteme (z.B. ACC oder Notbremsassistent) sind nach der Übernahme der Fahraufgabe durch den Fahrer weiterhin aktiv und unterstützen den Fahrer.

Risikominimaler Zustand

Wenn das Fahrzeug an den Fahrer übergeben möchte, weil Systemgrenzen erreicht werden, kann es sein, dass der Fahrer nicht oder nicht schnell genug reagiert. Was werden Fahrzeuge dann tun?

- Das Fahrzeug betätigt den Warnblinker, um die umgebenden Verkehrsteilnehmer zu warnen. Es kommt dann zu einem kontrollierten Stillstand, indem erst das Gas weggenommen wird und dann abgebremst bis zum Stillstand des Fahrzeugs.

Was sind realistische Ausprägungen eines risikominimalen Zustandes auf der Autobahn?

- Es ist denkbar, dass das Fahrzeug auf den Standstreifen fährt oder in der eigenen Fahrspur anhält.

Gibt es dabei besondere Warnungen für die menschlichen Verkehrsteilnehmer?

- Zur Warnung anderer umgebender Verkehrsteilnehmer wird der Warnblinker betätigt.

9.2 Studie 1 Versuchsmaterial

9.2.1 Soziodemographische Fragen

Alter: _____

Geschlecht: Weiblich Männlich

Informationen zum Fahrverhalten mit Kraftfahrzeugen

1. Besitzen Sie einen Führerschein? Wenn ja, seit wann (JJJJ)?

2. Wie häufig fahren Sie Auto?

Täglich/fast täglich
 Mehrmals die Woche
 Mehrmals im Monat
 Seltener

3. Bitte geben Sie Ihre **jährliche** Fahrleistung an:

- Weniger als 3.000km
- Zwischen 3.000km und 9.000km
- Zwischen 9.000km und 12.000km
- Zwischen 12.000km und 30.000km
- Zwischen 30.000km und 50.000km
- Mehr als 50.000km

4. Wie schätzen Sie Ihren Fahrstil ein?

sehr ruhig
 eher ruhig
 eher dynamisch
 sehr dynamisch

5. Wie rücksichtsvoll würden Sie Ihren Fahrstil beschreiben?

rücksichtsvoll
 eher rücksichtsvoll
 wenig rücksichtsvoll
 nicht rücksichtsvoll

6. Haben Sie selbst Erfahrung mit Fahrassistenzsystemen?

Ja Nein

7. Wenn ja, mit welchen Fahrassistenzsystemen haben Sie selbst Erfahrung gesammelt?

- Tempomat
- Tempomat mit automatischer Abstandsregelung (z.B. ACC)
- Spurhalteassistent/Spurverlassenswarnung
- Notbremsassistent
- Spurwechselassistent/Totwinkel-Assistent
- Stau-Assistent (z.B. Stop-and-Go)
- Parkassistent

8. Wie gut fühlen Sie sich über das Thema „Automatisiertes Fahren“ informiert?
Bitte geben Sie Ihren Kenntnisstand an.

- sehr wenig
 wenig
 mittel
 gut
 sehr gut

9. Im Folgenden bitten wir Sie einige Fragen zum Fahrverhalten von automatisierten Fahrzeugen zu beantworten. Geben Sie bitte bei jeder Frage an, wie sicher Sie sich bei Ihrer Antwort sind.

Automatisierte Fahrzeuge halten sich konsequent an die geltenden Geschwindigkeitsbeschränkungen.

- Ja Nein

Wie sicher sind Sie sich bei Ihrer Antwort?

- Sehr unsicher
 eher unsicher
 eher sicher
 sehr sicher

Automatisierte Fahrzeuge fahren mit größerem Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmern als menschliche Fahrer.

- Ja Nein

Wie sicher sind Sie sich bei Ihrer Antwort?

- Sehr unsicher
 eher unsicher
 eher sicher
 sehr sicher

Automatisierte Fahrzeuge verhalten sich stets kooperativ.

Ja Nein

Wie sicher sind Sie sich bei Ihrer Antwort?

Sehr unsicher eher unsicher eher sicher sehr sicher

10. Wie ist Ihre Einstellung gegenüber dem Thema „Automatisiertes Fahren“?

sehr negativ eher negativ teils/teils eher positiv sehr positiv

11. Haben Sie beruflich mit dem Thema „Automatisiertes Fahren“ zu tun?

Ja Nein

12. Haben Sie bereits Erfahrungen mit einem Fahr Simulator gesammelt?

Nein Ja, einmal Ja, mehr als einmal

Franke et al. (2019) - Im Folgenden geht es um Ihre Interaktion mit technischen Systemen. Mit ‚technischen Systemen‘ sind sowohl Apps und andere Software-Anwendungen als auch komplette digitale Geräte (z.B. Handy, Computer, Fernseher, Auto-Navigation) gemeint.

Bitte geben Sie den Grad Ihrer Zustimmung zu folgenden Aussagen an.	Stimmt gar nicht	Stimmt weitgehend nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt eher	Stimmt weitgehend	Stimmt völlig
Ich beschäftige mich gern genauer mit technischen Systemen.	<input type="checkbox"/>					
Ich probiere gern die Funktionen neuer technischer Systeme aus.	<input type="checkbox"/>					
In erster Linie beschäftige ich mich mit technischen Systemen, weil ich muss.	<input type="checkbox"/>					
Wenn ich ein neues technisches System vor mir habe, probiere ich es intensiv aus.	<input type="checkbox"/>					
Ich verbringe sehr gern Zeit mit dem Kennenlernen eines neuen technischen Systems.	<input type="checkbox"/>					
Es genügt mir, dass ein technisches System funktioniert, mir ist es egal, wie oder warum.	<input type="checkbox"/>					
Ich versuche zu verstehen, wie ein technisches System genau funktioniert.	<input type="checkbox"/>					
Es genügt mir, die Grundfunktionen eines technischen Systems zu kennen.	<input type="checkbox"/>					
Ich versuche, die Möglichkeiten eines technischen Systems vollständig auszunutzen.	<input type="checkbox"/>					

9.2.2 Situationsbewertung „Vor das Zielfahrzeug auf die Autobahn auffahren“ (S01)

Wie war die vorangegangene Situation?

Die folgenden Fragen beziehen sich auf das Verhalten des Folgefahrzeugs während Sie auf die Autobahn aufgefahren sind.

Die Fahrweise des Folgefahrzeugs war:

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| sehr defensiv | eher defensiv | teils/teils | eher dynamisch | sehr dynamisch |

Wie vorhersehbar war das Verhalten des Folgefahrzeugs?

 sehr niedrig eher niedrig teils/teils eher hoch sehr hoch

Wie angenehm war das Verhalten des Folgefahrzeugs?

 sehr wenig eher wenig teils/teils eher viel sehr viel

Wie kooperativ war das Verhalten des Folgefahrzeugs?

 sehr wenig eher wenig teils/teils eher viel sehr viel

Wie verärgert waren Sie über das Verhalten des Folgefahrzeugs?

 sehr wenig eher wenig teils/teils eher viel sehr viel

Wie risikoreich war das Verhalten des Folgefahrzeugs?

 sehr wenig eher wenig teils/teils eher viel sehr viel

Wie rücksichtslos war das Verhalten des Folgefahrzeugs?

 sehr wenig eher wenig teils/teils eher viel sehr viel

Wie angenehm war das Abstandsverhalten des Folgefahrzeugs zu Ihnen?

 sehr wenig eher wenig teils/teils eher viel sehr viel

Wie anstrengend war die Fahrsituation für Sie?

 sehr wenig wenig mittel etwas sehr

Bitte schauen Sie sich die folgende Skala an und entscheiden Sie sich für eine Kategorie (von *Harmlos* bis *Situation nicht akzeptabel*), die die vorangegangene Situation am besten beschreibt. Gegebenenfalls sollen Sie ihr Urteil dann noch verfeinern und die Unterkategorie ankreuzen, die ihre Erfahrung am besten wiedergibt (*sehr*, *mittel* oder *wenig*).

Situation nicht akzeptabel	
Gefährlich	sehr
	mittel
	wenig
Unangenehm	sehr
	mittel
	wenig
Harmlos	

Fahrverhalten

In der Zukunft werden automatisierte Fahrzeuge auf der Autobahn fahren. Diese Fahrzeuge können sich je nach Hersteller in ihren Fahrverhalten mehr oder weniger stark unterscheiden. Auch menschliche Fahrer haben unterschiedliche Fahrstile, welche innerhalb einer großen Bandbreite liegen.

Diese Frage bezieht sich ausschließlich darauf, wie Sie persönlich das Fahrverhalten des Folgefahrzeugs beurteilen. Es gibt bei dieser Frage keine richtige oder falsche Antwort.

Würden Sie das Fahrverhalten des Folgefahrzeugs eher einem automatisierten Fahrzeug oder einem menschlichen Fahrer zuordnen?

- automatisiert

 eher automatisiert

 unentschieden

 eher menschlich

 menschlich

9.2.3 Situationsbewertung „Zielfahrzeug zum Überholen einscheren lassen“ (S02)

Wie war die vorangegangene Situation?

Die folgenden Fragen beziehen sich auf das Verhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs, welches vor Ihnen eingeschert ist.

Die Fahrweise des vorausfahrenden Fahrzeugs war:

<input type="checkbox"/>				
sehr defensiv	eher defensiv	mittel	eher	sehr
			dynamisch	dynamisch

Wie vorhersehbar war das Verhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs beim Spurwechsel in Ihre Fahrstreifen?

<input type="checkbox"/>				
sehr niedrig	eher niedrig	mittel	eher hoch	sehr hoch

Wie angenehm war das Verhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs beim Spurwechsel in Ihre Fahrstreifen?

<input type="checkbox"/>				
sehr wenig	eher wenig	mittel	eher viel	sehr viel

Wie kooperativ war das Verhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs beim Spurwechsel in Ihre Fahrstreifen?

<input type="checkbox"/>				
sehr wenig	eher wenig	mittel	eher viel	sehr viel

Wie verärgert waren Sie über das Verhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs beim Spurwechsel in Ihre Fahrstreifen?

<input type="checkbox"/>				
sehr wenig	eher wenig	mittel	eher viel	sehr viel

Wie risikoreich war das Verhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs beim Spurwechsel in Ihre Fahrstreifen?

<input type="checkbox"/>				
sehr wenig	eher wenig	mittel	eher viel	sehr viel

Wie rücksichtslos war das Verhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs beim Spurwechsel in Ihre Fahrstreifen?

sehr wenig
 eher wenig
 mittel
 eher viel
 sehr viel

Wie angenehm war das Abstandsverhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs beim Spurwechsel in Ihre Fahrstreifen?

sehr wenig
 eher wenig
 mittel
 eher viel
 sehr viel

Wie anstrengend war die Fahrsituation für Sie?

sehr wenig
 wenig
 mittel
 etwas
 sehr

Bitte schauen Sie sich die folgende Skala an und entscheiden Sie sich für eine Kategorie (von *Harmlos* bis *Situation nicht akzeptabel*), die die vorangegangene Situation am besten beschreibt. Gegebenenfalls sollen Sie ihr Urteil dann noch verfeinern und die Unterkategorie ankreuzen, die ihre Erfahrung am besten wiedergibt (*sehr*, *mittel* oder *wenig*).

Situation nicht akzeptabel	
Gefährlich	sehr
	mittel
	wenig
Unangenehm	sehr
	mittel
	wenig
Harmlos	

Fahrverhalten

In der Zukunft werden automatisierte Fahrzeuge auf der Autobahn fahren. Diese Fahrzeuge können sich je nach Hersteller in ihren Fahrverhalten mehr oder weniger stark unterscheiden. Auch menschliche Fahrer haben unterschiedliche Fahrstile, welche innerhalb einer großen Bandbreite liegen.

Diese Frage bezieht sich ausschließlich darauf, wie Sie persönlich das Fahrverhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs beurteilen. Es gibt bei dieser Frage keine richtige oder falsche Antwort.

Würden Sie das Fahrverhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs eher einem automatisierten Fahrzeug oder einem menschlichen Fahrer zuordnen?

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| automatisiert | eher
automatisiert | unentschieden | eher
menschlich | menschlich |

9.2.4 Situationsbewertung „Zum Überholen in den Fahrstreifen des Zielfahrzeugs wechseln“ (S03)

Wie war die vorangegangene Situation?

Die folgenden Fragen beziehen sich auf das Verhalten des Folgefahrzeugs (das Fahrzeug vor dem Sie eingeschert sind).

Die Fahrweise des Folgefahrzeugs war:

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| sehr defensiv | eher defensiv | teils/teils | eher
dynamisch | sehr
dynamisch |

Wie vorhersehbar war das Verhalten des Folgefahrzeugs?

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| sehr niedrig | eher niedrig | mittel | eher hoch | sehr hoch |

Wie angenehm war das Verhalten des Folgefahrzeugs?

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| sehr wenig | eher wenig | mittel | eher viel | sehr viel |

Wie kooperativ war das Verhalten des Folgefahrzeugs?

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| sehr wenig | eher wenig | mittel | eher viel | sehr viel |

Wie verärgert waren Sie über das Verhalten des Folgefahrzeugs?

 sehr wenig eher wenig mittel eher viel sehr viel

Wie risikoreich war das Verhalten des Folgefahrzeugs?

 sehr wenig eher wenig mittel eher viel sehr viel

Wie rücksichtslos war das Verhalten des Folgefahrzeugs?

 sehr wenig eher wenig mittel eher viel sehr viel

Wie angenehm war das Abstandsverhalten des Folgefahrzeugs zu Ihnen?

 sehr wenig eher wenig mittel eher viel sehr viel

Wie anstrengend war die Fahrsituation für Sie?

 sehr wenig wenig mittel etwas sehr

Bitte schauen Sie sich die folgende Skala an und entscheiden Sie sich für eine Kategorie (von *Harmlos* bis *Situation nicht akzeptabel*), die die vorangegangene Situation am besten beschreibt. Gegebenenfalls sollen Sie ihr Urteil dann noch verfeinern und die Unterkategorie ankreuzen, die ihre Erfahrung am besten wiedergibt (*sehr*, *mittel* oder *wenig*).

Situation nicht akzeptabel	
Gefährlich	sehr
	mittel
	wenig
Unangenehm	sehr
	mittel
	wenig
Harmlos	

Fahrverhalten

In der Zukunft werden automatisierte Fahrzeuge auf der Autobahn fahren. Diese Fahrzeuge können sich je nach Hersteller in ihren Fahrverhalten mehr oder weniger stark unterscheiden. Auch menschliche Fahrer haben unterschiedliche Fahrstile, welche innerhalb einer großen Bandbreite liegen.

Diese Frage bezieht sich ausschließlich darauf, wie Sie persönlich das Fahrverhalten des Folgefahrzeugs beurteilen. Es gibt bei dieser Frage keine richtige oder falsche Antwort.

Würden Sie das Fahrverhalten des Folgefahrzeugs eher einem automatisierten Fahrzeug oder einem menschlichen Fahrer zuordnen?

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| automatisiert | eher
automatisiert | unentschieden | eher
menschlich | menschlich |

9.2.5 Fragebogen zur Situationsbewertung „Folgefahrt“ (S04)

Wie war die vorangegangene Folgefahrt?

Die Fahrweise des vorausfahrenden Fahrzeugs war:

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| Sehr defensiv | eher defensiv | mittel | eher
dynamisch | sehr
dynamisch |

Wie vorhersehbar war das Verhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs beim Überholvorgang für Sie als Folgefahrer?

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| sehr niedrig | eher niedrig | mittel | eher hoch | sehr hoch |

Wie angenehm war das Verhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs beim Überholvorgang für Sie als Folgefahrer?

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| sehr wenig | eher wenig | mittel | eher viel | sehr viel |

Bitte schauen Sie sich die folgende Skala an und entscheiden Sie sich für eine Kategorie (von *Harmlos* bis *Situation nicht akzeptabel*), die die vorangegangene Situation am besten beschreibt. Gegebenenfalls sollen Sie ihr Urteil dann noch verfeinern und die Unterkategorie ankreuzen, die ihre Erfahrung am besten wiedergibt (*sehr*, *mittel* oder *wenig*).

Situation nicht akzeptabel	
Gefährlich	sehr
	mittel
	wenig
Unangenehm	sehr
	mittel
	wenig
Harmlos	

Fahrverhalten

In der Zukunft werden automatisierte Fahrzeuge auf der Autobahn fahren. Diese Fahrzeuge können sich je nach Hersteller in ihren Fahrverhalten mehr oder weniger stark unterscheiden. Auch menschliche Fahrer haben unterschiedliche Fahrstile, welche innerhalb einer großen Bandbreite liegen.

Diese Frage bezieht sich ausschließlich darauf, wie Sie persönlich das Fahrverhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs beurteilen. Es gibt bei dieser Frage keine richtige oder falsche Antwort.

Würden Sie das Fahrverhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs eher einem automatisierten Fahrzeug oder einem menschlichen Fahrer zuordnen?

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| automatisiert | eher
automatisiert | unentschieden | eher
menschlich | menschlich |

9.2.6 Fragebogen zur Situationsbewertung „Transfersituation“ (S05)

Wie war die vorangegangene Situation?

Ist das Fahrzeug auf der rechten Fahrstreifen hinter dem Lkw in Ihre Fahrstreifen gewechselt, um den Lkw zu überholen?

Ja Nein

Haben Sie das Fahrzeug *bewusst* daran gehindert, in Ihre Fahrstreifen zu wechseln?

Ja Nein

Wenn ja, warum haben Sie das Fahrzeug am Spurwechsel gehindert?

Bitte schauen Sie sich die folgende Skala an und entscheiden Sie sich für eine Kategorie (von *Harmlos* bis *Situation nicht akzeptabel*), die die vorangegangene Situation am besten beschreibt. Gegebenenfalls sollen Sie ihr Urteil dann noch verfeinern und die Unterkategorie ankreuzen, die ihre Erfahrung am besten wiedergibt (*sehr*, *mittel* oder *wenig*).

Situation nicht akzeptabel	
Gefährlich	sehr
	mittel
	wenig
Unangenehm	sehr
	mittel
	wenig
Harmlos	

Fahrverhalten

Würden Sie das Fahrverhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs eher einem automatisierten Fahrzeug oder einem menschlichen Fahrer zuordnen?

<input type="checkbox"/>				
automatisiert	eher automatisiert	unentschieden	eher menschlich	menschlich

9.2.7 Nachbefragung mit Kennzeichnung

Vielen Dank für Ihre Teilnahme am Versuch. Zum Abschluss möchten wir Sie bitten noch einen kurzen Fragebogen auszufüllen.

In der Zukunft werden viele automatisierte Fahrzeuge auf der Autobahn unterwegs sein. Was denken Sie, wie wird sich der Verkehr dadurch verändern?

Der Verkehr wird kooperativer.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
viel weniger als heute	weniger als heute	Keine Veränderung	mehr als heute	viel mehr als heute

Der Verkehr wird risikoreicher.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
viel weniger als heute	weniger als heute	Keine Veränderung	mehr als heute	viel mehr als heute

Der Verkehr wird sicherer.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
viel weniger als heute	weniger als heute	Keine Veränderung	mehr als heute	viel mehr als heute

Das Fahren im Verkehr wird angenehmer.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
viel weniger als heute	weniger als heute	Keine Veränderung	mehr als heute	viel mehr als heute

Das Fahren im Verkehr wird entspannter.

viel weniger als heute
 weniger als heute
 Keine Veränderung
 mehr als heute
 viel mehr als heute

Das Fahren im Verkehr wird anstrengender.

viel weniger als heute
 weniger als heute
 Keine Veränderung
 mehr als heute
 viel mehr als heute

Ich muss beim Fahren mehr auf den Verkehr aufpassen.

viel weniger als heute
 weniger als heute
 Keine Veränderung
 mehr als heute
 viel mehr als heute

Sie haben im Versuch mit automatisierten und manuellen Fahrzeugen direkt interagiert. Die automatisierten Fahrzeuge hatten eine Lichtkennzeichnung.

Haben Sie sich aufgrund der Kennzeichnung anders gegenüber den Fahrzeugen verhalten?

Ja Nein

Wenn ja, inwiefern haben Sie sich anders verhalten?

Es besteht die Überlegung, automatisierte Fahrzeuge bei der Einführung in den öffentlichen Straßenverkehr als solche zu kennzeichnen.

Andere Verkehrsteilnehmer könnten somit ein automatisiertes Fahrzeug auf einen Blick sofort als solche erkennen. Verschiedene Hersteller entwickeln dazu bereits verschiedene Arten der Kennzeichnung.

Wie finden Sie die Idee, automatisierte Fahrzeuge zu kennzeichnen?

- sehr schlecht
 schlecht
 neutral
 gut
 sehr gut

Auf welchen Straßentypen sollten automatisierte Fahrzeuge gekennzeichnet werden?

(Mehrfachantworten sind möglich.)

- Ich bin gegen eine Kennzeichnung.
 In der Stadt
 Auf Landstraßen
 Auf der Autobahn
 Automatisierte Fahrzeuge sollten auf allen Straßen gekennzeichnet sein.

Wie ist Ihre Einstellung zum Thema „Automatisiertes Fahren“?

- sehr negativ
 negativ
 neutral
 positiv
 sehr positiv

Vielen Dank für Ihre Teilnahme am Versuch!

9.2.8 Nachbefragung ohne Kennzeichnung

Vielen Dank für Ihre Teilnahme am Versuch. Zum Abschluss möchten wir Sie bitten noch einen kurzen Fragebogen auszufüllen.

In der Zukunft werden viele automatisierte Fahrzeuge auf der Autobahn unterwegs sein. Was denken Sie, wie wird sich der Verkehr dadurch verändern?

Der Verkehr wird kooperativer.

- viel weniger als heute
 weniger als heute
 Keine Veränderung
 mehr als heute
 viel mehr als heute

Der Verkehr wird risikoreicher.

- viel weniger als heute
 weniger als heute
 Keine Veränderung
 mehr als heute
 viel mehr als heute

Der Verkehr wird sicherer.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
viel weniger als heute	weniger als heute	Keine Veränderung	mehr als heute	viel mehr als heute

Das Fahren im Verkehr wird angenehmer.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
viel weniger als heute	weniger als heute	Keine Veränderung	mehr als heute	viel mehr als heute

Das Fahren im Verkehr wird entspannter.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
viel weniger als heute	weniger als heute	Keine Veränderung	mehr als heute	viel mehr als heute

Das Fahren im Verkehr wird anstrengender.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
viel weniger als heute	weniger als heute	Keine Veränderung	mehr als heute	viel mehr als heute

Ich muss beim Fahren mehr auf den Verkehr aufpassen.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
viel weniger als heute	weniger als heute	Keine Veränderung	mehr als heute	viel mehr als heute

Sie haben im Versuch mit automatisierten und manuellen Fahrzeugen direkt interagiert. Allerdings waren die automatisierten Fahrzeuge von den manuellen Fahrzeugen äußerlich nicht zu unterscheiden.

Hätten Sie sich während der Versuchsfahrt eine Kennzeichnung der automatisierten Fahrzeuge gewünscht?

Ja Nein

Hätten Sie sich während der Versuchsfahrt anders gegenüber den Fahrzeugen verhalten, wenn diese als automatisiert gekennzeichnet gewesen wären?

- Ja Nein

Wenn ja, inwiefern hätten Sie sich anders verhalten?

Es besteht die Überlegung, automatisierte Fahrzeuge bei der Einführung in den öffentlichen Straßenverkehr als solche zu kennzeichnen.

Andere Verkehrsteilnehmer könnten somit ein automatisiertes Fahrzeug auf einen Blick sofort als solches erkennen. Verschiedene Hersteller entwickeln dazu bereits verschiedene Arten der Kennzeichnung.

Wie finden Sie die Idee, automatisierte Fahrzeuge zu kennzeichnen?

-
- sehr schlecht schlecht mittel gut sehr gut

Auf welchen Straßentypen sollten automatisierte Fahrzeuge gekennzeichnet werden?

(Mehrfachantworten sind möglich.)

- Ich bin gegen eine Kennzeichnung.
 In der Stadt
 Auf Landstraßen
 Auf der Autobahn
 Automatisierte Fahrzeuge sollten auf allen Straßen gekennzeichnet sein.

Wie ist Ihre Einstellung zum Thema „Automatisiertes Fahren“?

-
- sehr negativ negativ neutral positiv sehr positiv

Vielen Dank für Ihre Teilnahme am Versuch!

9.2.9 Instruktionen für die Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung

Liebe/r Teilnehmer/in,

bitte lesen Sie den folgenden Text aufmerksam durch. Falls Sie Fragen zu Ihrer Aufgabe haben, sprechen Sie bitte den Versuchsleiter an.

In der Zukunft werden neben manuellen, d.h. von Menschen gefahrene Fahrzeuge, auch automatisierte Fahrzeuge auf der Autobahn unterwegs sein. Ein **automatisiertes Fahrzeug** übernimmt die **Fahraufgabe** des Fahrers (Gas, Bremsen, Lenken) für eine **begrenzte Zeit vollständig**. In diesem Versuch möchten wir herausfinden, wie menschliche Fahrer mit manuellen und automatisierten Fahrzeugen im sogenannten „Mischverkehr“ auf der Autobahn interagieren.

Sie werden nun eine Reihe von Fahrsituationen auf der Autobahn erleben, die auch in der Realität so vorkommen können. Jede Fahrsituation wird Ihnen vorab vom Versuchsleiter gezeigt.

In den Fahrsituationen werden Sie **zweimal** einem **manuellen** und zweimal einem **automatisierten Fahrzeug** begegnen. Die **manuellen Fahrzeuge** sind in ihrer **Fahrweise unterschiedlich**, d.h. sie sind verschiedenen menschlichen Fahrstilen nachempfunden. Die **automatisierten Fahrzeuge** sind in ihrer Fahrweise ebenfalls **unterschiedlich**, d.h. sie sind verschiedenen herstellerepezifischen Fahrstilen nachempfunden.

Die automatisierten Fahrzeuge unterscheiden sich in ihrem Aussehen nicht von den manuellen Fahrzeugen.

Ihre Aufgabe in diesem Versuchsteil ist es, die Fahrweise der Fahrzeuge zu bewerten. Achten Sie deshalb genau auf das Verhalten des Umgebungsverkehrs.

Bitte reagieren Sie in den Situationen möglichst so, wie Sie es auch in Ihrem eigenen Fahrzeug in der Realität tun würden. Bevor Sie ein Fahrmanöver einleiten, sichern Sie ihre Umgebung ausreichend ab. Vermeiden Sie Zusammenstöße mit anderen Verkehrsteilnehmern, bzw. mit den Fahrbahnbegrenzungen.

Bitte folgen Sie zunächst den Navigationspfeilen auf die Autobahn. Nach jeder Fahrsituation werden Sie durch Navigationspfeile auf einen **Autobahnparkplatz** navigiert. Dort werden Sie zur vorangegangenen Fahrsituation vom Versuchsleiter befragt.

Liebe/r Teilnehmer/in,

Im nächsten Versuchsteil werden Sie einem Fahrzeug auf der Autobahn folgen. Fahren Sie dazu bitte **mit 130 km/h auf der Autobahn bis Sie das Fahrzeug einholen**. Fahren Sie stets mit ausreichendem Sicherheitsabstand hinter dem vorausfahrenden Fahrzeug und überholen Sie dieses nicht. Ihre Aufgabe ist es, die Fahrweise des vorausfahrenden Fahrzeugs zu bewerten. Bitte beobachten Sie das vorausfahrende Fahrzeug genau.

Das vorausfahrende Fahrzeug ist **entweder ein manuelles Fahrzeug oder ein automatisiertes Fahrzeug**. Insgesamt folgen Sie **zweimal** einem **manuellen Fahrzeug** und **zweimal** einem **automatisierten Fahrzeug**.

Die **manuellen Fahrzeuge** sind **in ihrer Fahrweise unterschiedlich**, d.h. sie sind verschiedenen menschlichen Fahrstilen nachempfunden. Die **automatisierten Fahrzeuge** sind **in ihrer Fahrweise ebenfalls unterschiedlich**, d.h. sie sind verschiedenen herstellerepezifischen Fahrstilen nachempfunden.

Die automatisierten Fahrzeuge unterscheiden sich in ihrem Aussehen nicht von den manuellen Fahrzeugen.

Nach der Folgefahrt werden Sie auf einen **Autobahnparkplatz** navigiert. Anschließend werden Sie vom Versuchsleiter zur Folgefahrt befragt.

9.2.10 Instruktionen für die Versuchsgruppen mit richtiger /falscher Kennzeichnung

Liebe/r Teilnehmer/in,

bitte lesen Sie den folgenden Text aufmerksam durch. Falls Sie Fragen zu Ihrer Aufgabe haben, sprechen Sie bitte den Versuchsleiter an.

In der Zukunft werden neben manuellen, d.h. von Menschen gefahrene Fahrzeuge, auch automatisierte Fahrzeuge auf der Autobahn unterwegs sein. Ein **automatisiertes Fahrzeug** übernimmt die **Fahraufgabe** des Fahrers (Gas, Bremsen, Lenken) für eine **begrenzte Zeit vollständig**. In diesem Versuch möchten wir herausfinden, wie menschliche Fahrer mit manuellen und automatisierten Fahrzeugen im sogenannten „Mischverkehr“ auf der Autobahn interagieren.

Sie werden nun eine Reihe von Fahrsituationen auf der Autobahn erleben, die auch in der Realität so vorkommen können. Jede Fahrsituation wird Ihnen vorab vom Versuchsleiter gezeigt. In den Fahrsituationen werden Sie **zweimal** einem **manuellen**

und zweimal einem **automatisierten Fahrzeug** begegnen. Die **manuellen Fahrzeuge** sind in ihrer Fahrweise unterschiedlich, d.h. sie sind verschiedenen menschlichen Fahrstilen nachempfunden. Die **automatisierten Fahrzeuge** sind in ihrer Fahrweise ebenfalls **unterschiedlich**, d.h. sie sind verschiedenen herstellereigenen Fahrstilen nachempfunden.

Sie erkennen die automatisierten Fahrzeuge an der Lichtkennzeichnung.



Ihre Aufgabe in diesem Versuchsteil ist es, die Fahrweise der Fahrzeuge zu bewerten. Achten Sie deshalb genau auf das Verhalten des Umgebungsverkehrs.

Bitte reagieren Sie in den Situationen möglichst so, wie Sie es auch in Ihrem eigenen Fahrzeug in der Realität tun würden. Bevor Sie ein Fahrmanöver einleiten, sichern Sie ihre Umgebung ausreichend ab. Vermeiden Sie Zusammenstöße mit anderen Verkehrsteilnehmern, bzw. mit den Fahrbahnbegrenzungen.

Nach jeder Fahrsituation werden Sie durch Navigationspfeile auf einen **Autobahnparkplatz** navigiert. Dort werden Sie zur vorangegangenen Fahrsituation vom Versuchsleiter befragt.

Liebe/r Teilnehmer/in,

Im nächsten Versuchsteil werden Sie einem Fahrzeug auf der Autobahn folgen. Fahren Sie dazu bitte **mit 130 km/h auf der Autobahn bis Sie das Fahrzeug einholen**. Fahren Sie stets mit ausreichendem Sicherheitsabstand hinter dem vorausfahrenden Fahrzeug und überholen Sie dieses nicht. Ihre Aufgabe ist es, die Fahrweise des vorausfahrenden Fahrzeugs zu bewerten. Bitte beobachten Sie das vorausfahrende Fahrzeug genau.

Das vorausfahrende Fahrzeug ist **entweder** ein **manuelles Fahrzeug** oder ein **automatisiertes Fahrzeug**. Insgesamt folgen Sie **zweimal** einem **manuellen Fahrzeug** und **zweimal** einem **automatisierten Fahrzeug**.

Die **manuellen Fahrzeuge** sind **in ihrer Fahrweise unterschiedlich**, d.h. sie sind verschiedenen menschlichen Fahrstilen nachempfunden. Die **automatisierten Fahrzeuge** sind **in ihrer Fahrweise** ebenfalls **unterschiedlich**, d.h. sie sind verschiedenen herstellereigenen Fahrstilen nachempfunden.

Sie erkennen die automatisierten Fahrzeuge an der Lichtkennzeichnung.



Nach der Folgefahrt werden Sie auf einen **Autobahnparkplatz** navigiert. Anschließend werden Sie vom Versuchsleiter zur Folgefahrt befragt.

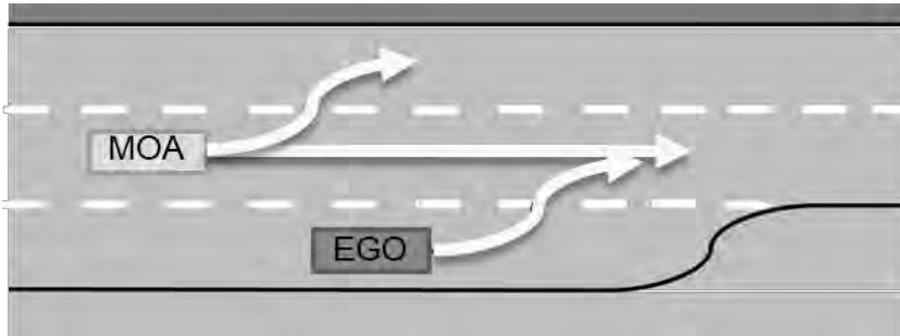
9.2.11 Situationsbeschreibung: „Vor das Zielfahrzeug auf die Autobahn auffahren“ (S01)

In der folgenden Fahrsituation fahren Sie über den Beschleunigungsstreifen auf die Autobahn auf. Beschleunigen Sie so, wie Sie es gewöhnlich beim Auffahren auf die Autobahn tun.

Hinter Ihnen auf der rechten Fahrstreifen der Autobahn fährt ein automatisiertes oder manuelles Fahrzeug (MOA).

Ihre Aufgabe ist es, vor dem Fahrzeug auf die Autobahn aufzufahren.

Beobachten Sie dabei das hinter Ihnen fahrende Fahrzeug.



9.2.12 Situationsbeschreibung: „Zielfahrzeug zum Überholen einscheren lassen“ (S02)

In der folgenden Fahrsituation fahren Sie zunächst auf der rechten Fahrstreifen mit einer Geschwindigkeit von **maximal 130 km/h**. Bitte achten Sie darauf, die Geschwindigkeitsbegrenzung nicht zu überschreiten.

Vor Ihnen fährt eine langsame Fahrzeugkolonne. Um diese zu überholen, wechseln Sie auf die linke Fahrstreifen.

In der Fahrzeugkolonne auf der rechten Fahrstreifen holt ein automatisiertes oder manuelles Fahrzeug (MOA) einen langsam fahrenden Lkw ein. Um den Lkw zu überholen, wird das Fahrzeug vor Ihnen auf die linke Fahrstreifen einscheren.

Beobachten Sie das Fahrzeug.



9.2.13 Situationsbeschreibung: „Zum Überholen in den Fahrstreifen des Zielfahrzeugs wechseln“ (S03)

In der folgenden Fahrsituation fahren Sie auf der rechten Fahrstreifen mit einer Geschwindigkeit zwischen 110 und 120 km/h. Halten Sie diese Geschwindigkeit bitte genau ein.

Sobald Sie den vor Ihnen fahrenden Lkw eingeholt haben, folgen Sie diesem mit dem gewöhnlichen Abstand. Der Lkw fährt 80 km/h. Wenn nötig, bremsen Sie ab, um den Sicherheitsabstand zum Lkw einzuhalten.

Auf dem linken Fahrstreifen fahren Fahrzeuge mit hoher Geschwindigkeit an Ihnen vorbei. Die Fahrzeuge fahren mit einem geringen Abstand zueinander. Bleiben Sie auf der rechten Fahrstreifen bis Sie die größere Lücke sehen.

Ihre Aufgabe ist es, die größere Lücke zu nutzen, um den Lkw zu überholen.

Hinter Ihnen auf dem linken Fahrstreifen fährt ein automatisiertes oder manuelles Fahrzeug (MOA). Beobachten Sie dieses Fahrzeug.

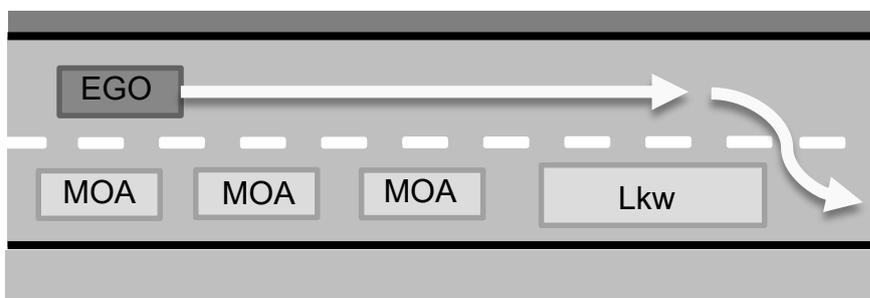


9.2.14 Situationsbeschreibung: „Transfersituation“ (S05)

In der folgenden Fahrsituation fahren Sie auf der linken Fahrspur mit einer Geschwindigkeit von maximal 140 km/h. Bitte achten Sie darauf, die Geschwindigkeitsbegrenzung nicht zu überschreiten.

Auf der rechten Spur fährt eine Fahrzeugkolonne, welche Sie überholen.

Sobald Sie den die Kolonne anführenden Lkw überholt haben, wechseln Sie bitte auf die rechte Spur.



9.3 Studie 2 Versuchsmaterial

9.3.1 Soziodemografische Fragen

Alter: _____

Geschlecht: Weiblich Männlich

Informationen zum Fahrverhalten mit Kraftfahrzeugen

1. Besitzen Sie einen Führerschein? Wenn ja, seit wann (JJJJ)?

2. Wie häufig fahren Sie Auto?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Täglich/fast täglich	Mehrmals die Woche	Mehrmals im Monat	Seltener

3. Bitte geben Sie Ihre **jährliche** Fahrleistung an:
 - Weniger als 3.000km
 - Zwischen 3.000km und 9.000km
 - Zwischen 9.000km und 12.000km
 - Zwischen 12.000km und 30.000km
 - Zwischen 30.000km und 50.000km
 - Mehr als 50.000km

4. Wie schätzen Sie Ihren Fahrstil ein?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr ruhig	eher ruhig	eher dynamisch	sehr dynamisch

5. Wie rücksichtsvoll würden Sie Ihren Fahrstil beschreiben?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rücksichtsvoll	eher rücksichtsvoll	wenig rücksichtsvoll	nicht rücksichtsvoll

6. Haben Sie selbst Erfahrung mit Fahrassistenzsystemen?

<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
-----------------------------	-------------------------------

7. Wenn ja, mit welchen Fahrassistenzsystemen haben Sie selbst Erfahrung gesammelt?

- Tempomat
- Tempomat mit automatischer Abstandsregelung (z.B. ACC)
- Spurhalteassistent/Spurverlassenswarnung
- Notbremsassistent
- Spurwechselassistent/Totwinkel-Assistent
- Stau-Assistent (z.B. Stop-and-Go)
- Parkassistent

8. Wie gut fühlen Sie sich über das Thema „Automatisiertes Fahren“ informiert?
Bitte geben Sie Ihren Kenntnisstand an.

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| sehr wenig | wenig | mittel | gut | sehr gut |

9. Wie ist Ihre Einstellung gegenüber dem Thema „Automatisiertes Fahren“?

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| sehr negativ | eher negativ | teils/teils | eher positiv | sehr positiv |

10. Haben Sie beruflich mit dem Thema „Automatisiertes Fahren“ zu tun?

- Ja Nein

11. Haben Sie bereits Erfahrungen mit einem Fahrsimulator gesammelt?

- Nein Ja, einmal Ja, mehr als einmal

Franke et al. (2019) - Im Folgenden geht es um Ihre Interaktion mit technischen Systemen. Mit ‚technischen Systemen‘ sind sowohl Apps und andere Software-Anwendungen als auch komplette digitale Geräte (z.B. Handy, Computer, Fernseher, Auto-Navigation) gemeint.

Bitte geben Sie den Grad Ihrer Zustimmung zu folgenden Aussagen an.	Stimmt gar nicht	Stimmt weitgehend nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt eher	Stimmt weitgehend	Stimmt völlig
Ich beschäftige mich gern genauer mit technischen Systemen.	<input type="checkbox"/>					
Ich probiere gern die Funktionen neuer technischer Systeme aus.	<input type="checkbox"/>					
In erster Linie beschäftige ich mich mit technischen Systemen, weil ich muss.	<input type="checkbox"/>					
Wenn ich ein neues technisches System vor mir habe, probiere ich es intensiv aus.	<input type="checkbox"/>					
Ich verbringe sehr gern Zeit mit dem Kennenlernen eines neuen technischen Systems.	<input type="checkbox"/>					
Es genügt mir, dass ein technisches System funktioniert, mir ist es egal, wie oder warum.	<input type="checkbox"/>					
Ich versuche zu verstehen, wie ein technisches System genau funktioniert.	<input type="checkbox"/>					
Es genügt mir, die Grundfunktionen eines technischen Systems zu kennen.	<input type="checkbox"/>					
Ich versuche, die Möglichkeiten eines technischen Systems vollständig auszunutzen.	<input type="checkbox"/>					

9.3.2 Zwischenbefragung nach jedem absolvierten Fahrtabschnitt

Wie war die vorangegangene Fahrt auf der Autobahn?

Wie angenehm war das Fahren auf dem vorangegangenen Autobahnabschnitt?

sehr wenig eher wenig teils/teils eher viel sehr viel

Wie anstrengend war das Fahren auf dem Autobahnabschnitt für Sie?

sehr wenig wenig mittel etwas sehr

Wie gut sind Sie auf dem Autobahnabschnitt vorangekommen?

sehr schlecht schlecht mittel gut sehr gut

Bitte schauen Sie sich die folgende Skala an und entscheiden Sie sich für eine Kategorie (von *Harmlos* bis *nicht akzeptabel*), die das Fahren auf dem vorangegangenen Fahrtabschnitt am besten beschreibt. Verfeinern Sie ihr Urteil dann noch mit einer Unterkategorie, die ihre Erfahrung am besten wiedergibt (*sehr*, *mittel* oder *wenig*).

Was beschreibt ihre Wahrnehmung der Verkehrssituation auf dem vorangegangenen Autobahnabschnitt am besten?

Situation nicht akzeptabel	
Gefährlich	sehr
	mittel
	wenig
Unangenehm	sehr
	mittel
	wenig
Harmlos	

Wie viel Prozent der anderen Fahrzeuge, die mit Ihnen auf der Autobahn gefahren sind, waren Ihrer Einschätzung nach auf dem Autobahnabschnitt automatisiert unterwegs auf einer Skala von 0% bis 100%? Diese Frage bezieht sich ausschließlich auf Fahrzeuge, die in dieselbe Richtung unterwegs waren wie Sie.¹

_____ %

Im Folgenden geht es uns um das Fahrverhalten automatisierter Fahrzeuge auf dem vorangegangenen Autobahnabschnitt:

Sind die automatisierten Fahrzeuge ihrer Meinung nach anders gefahren als die menschlichen Fahrer?

- Ja
 Nein

Wenn ja, worin haben sich die automatisierten Fahrzeuge in ihrem Fahrverhalten von menschlichen Fahrern unterschieden?

¹ Diese Frage wurde nur in den Versuchsgruppen mit Wissen gestellt.

Was beschreibt ihre Wahrnehmung des Fahrverhaltens automatisierter Fahrzeuge am besten?

Bitte schauen Sie sich die folgende Skala an und entscheiden Sie sich für eine Kategorie (von *Harmlos* bis *nicht akzeptabel*), die das Fahrverhalten automatisierter Fahrzeuge auf dem vorangegangenen Fahrtabschnitt am besten beschreibt. Verfeinern Sie ihr Urteil dann noch mit einer Unterkategorie, die ihre Erfahrung am besten wiedergibt (*sehr*, *mittel* oder *wenig*).

Situation nicht akzeptabel	
Gefährlich	sehr
	mittel
	wenig
Unangenehm	sehr
	mittel
	wenig
Harmlos	

Jetzt geht es um die menschlichen Fahrer und ihr Fahrverhalten auf dem vorangegangenen Autobahnabschnitt:

Was beschreibt ihre Wahrnehmung des Fahrverhaltens menschlicher Fahrer am besten?

Bitte schauen Sie sich die folgende Skala an und entscheiden Sie sich für eine Kategorie (von *Harmlos* bis *nicht akzeptabel*), die das Fahrverhalten menschlicher Fahrer auf dem vorangegangenen Fahrtabschnitt am besten beschreibt. Verfeinern Sie ihr Urteil dann noch mit einer Unterkategorie, die ihre Erfahrung am besten wiedergibt (*sehr*, *mittel* oder *wenig*).

Situation nicht akzeptabel	
Gefährlich	sehr
	mittel
	wenig
Unangenehm	sehr
	mittel
	wenig
Harmlos	

9.3.3 Instruktion Informationsphase in Versuchsgruppen mit Wissen

Liebe/r Teilnehmer/in,

in diesem ersten Versuchsteil informieren wir Sie über die Fähigkeiten und Grenzen von automatisierten Fahrzeugen. Diesen Fahrzeugen werden Sie während der Versuchsfahrt auf der Autobahn begegnen.

In der Zukunft werden neben manuellen, d.h. von Menschen gefahrene Fahrzeuge, auch automatisierte Fahrzeuge im sogenannten „Mischverkehr“ auf der Autobahn unterwegs sein.

Ein automatisiertes Fahrzeug übernimmt die Fahraufgabe des Fahrers (Gas, Bremsen, Lenken) für eine begrenzte Zeit vollständig.

Automatisierte Fahrzeuge unterscheiden sich in ihrem Fahrverhalten von menschlichen Fahrern, denn automatisierte Fahrzeuge halten sich während der Fahrt stets an die Straßenverkehrsordnung. Sie halten stets die zulässige Höchstgeschwindigkeit ein. Das bedeutet, dass hochautomatisierte Fahrzeuge bereits vor der Einführung der Geschwindigkeitsbegrenzung abbremsen, um auf der Höhe des Schildes die zulässige Höchstgeschwindigkeit einzuhalten. Dazu nutzen die automatisierten Fahrzeuge eine digitale Infrastruktur (z.B. GPS Daten).

Im Video 1 sehen Sie, wie sich ein hochautomatisiertes Fahrzeug bei der Einführung einer Geschwindigkeitsbeschränkung verhält.

Automatisierte Fahrzeuge halten stets einen Mindestsicherheitsabstand von ca. einem halben Tacho zu anderen vorausfahrenden oder folgenden Fahrzeugen ein. Sollte dieser Abstand z.B. durch ein anderes einscherendes Fahrzeug verringert worden sein, so reduziert ein automatisiertes Fahrzeug seine Geschwindigkeit, um den Mindestsicherheitsabstand wiederherzustellen. Das sehen Sie in Video 2.

Darüber hinaus überholen automatisierte Fahrzeuge selbstständig langsamere, vorausfahrende Fahrzeuge. Video 3 zeigt Ihnen den Überholvorgang eines automatisierten Fahrzeugs.

9.3.4 Instruktion der Versuchsfahrten für Versuchsgruppen mit Kennzeichnung

Liebe/r Teilnehmer/in,

bitte lesen Sie den folgenden Text aufmerksam durch.

Durch die Einführung automatisierter Fahrzeuge wird sich der Verkehr auf der Autobahn verändern. Ziel dieser Studie ist es daher, Auswirkungen dieser verkehrsbezogenen Veränderungen auf das Erleben und die Wahrnehmung menschlicher Fahrer im sogenannten Mischverkehr zu untersuchen.

Sie fahren heute auf 4 Autobahnabschnitten, welche jeweils 20 bis 25 Minuten lang sind. Sie werden im Mischverkehr fahren und sowohl **manuellen** als auch **automatisierten Fahrzeugen begegnen**.

Sie erkennen die automatisierten Fahrzeuge an dem blauen Rechteck unter dem Fahrzeug.



Zum Abschluss der Fahrt auf jedem Autobahnabschnitt werden Sie auf einen **Autobahnparkplatz** navigiert. Dort werden Sie zur Fahrt auf dem vorangegangenen Autobahnabschnitt vom Versuchsleiter befragt.

Bitte fahren Sie möglichst so, wie Sie es auch in Ihrem eigenen Fahrzeug in der Realität tun würden. Bitte sichern Sie Fahrmanöver ab, bevor sie diese durchführen und vermeiden Sie Kollisionen mit anderen Fahrzeugen.

Über das Head-Up Display wird Ihnen die zulässige Höchstgeschwindigkeit und Ihre derzeitige Geschwindigkeit angezeigt.

9.3.5 Instruktion Versuchsfahrt für Versuchsgruppe ohne Kennzeichnung

Liebe/r Teilnehmer/in,

bitte lesen Sie den folgenden Text aufmerksam durch.

Durch die Einführung automatisierter Fahrzeuge wird sich der Verkehr auf der Autobahn verändern. Ziel dieser Studie ist es daher, Auswirkungen dieser verkehrsbezogenen Veränderungen auf das Erleben und die Wahrnehmung menschlicher Fahrer im sogenannten Mischverkehr zu untersuchen.

Sie fahren heute auf 4 Autobahnabschnitten, welche jeweils 20 bis 25 Minuten lang sind. Sie werden im Mischverkehr fahren und sowohl **manuellen** als auch **automatisierten Fahrzeugen begegnen**. Die automatisierten Fahrzeuge unterscheiden sich in ihrem Aussehen **nicht** von den manuellen Fahrzeugen.

Zum Abschluss der Fahrt auf jedem Autobahnabschnitt werden Sie auf einen **Autobahnparkplatz** navigiert. Dort werden Sie zur Fahrt auf dem vorangegangenen Autobahnabschnitt vom Versuchsleiter befragt.

Bitte fahren Sie möglichst so, wie Sie es auch in Ihrem eigenen Fahrzeug in der Realität tun würden. Bitte sichern Sie Fahrmanöver ab, bevor Sie diese durchführen und vermeiden Sie Kollisionen mit anderen Fahrzeugen.

Über das Head-Up Display wird Ihnen die zulässige Höchstgeschwindigkeit und Ihre derzeitige Geschwindigkeit angezeigt.

9.3.6 Instruktion Versuchsfahrt für die Kontrollgruppe

Liebe/r Teilnehmer/in,

bitte lesen Sie den folgenden Text aufmerksam durch.

Ziel der Studie ist es, zu untersuchen, wie sich der Verkehrsfluss auf das Sicherheitserleben und das Fahrgefühl in unterschiedlichen Verkehrssituationen auf der Autobahn auswirkt. Sie fahren heute auf 4 unterschiedlichen Autobahnabschnitten, welche jeweils 20 bis 25 Minuten lang sind.

Zum Abschluss der Fahrt auf jedem Autobahnabschnitt werden Sie auf einen **Autobahnparkplatz** navigiert. Dort werden Sie zur Fahrt auf dem vorangegangenen Autobahnabschnitt vom Versuchsleiter befragt.

Bitte fahren Sie möglichst so, wie Sie es auch in Ihrem eigenen Fahrzeug in der Realität tun würden. Bitte sichern Sie Fahrmanöver ab, bevor sie diese durchführen und vermeiden Sie Kollisionen mit anderen Fahrzeugen.

Über das Head-Up Display wird Ihnen die zulässige Höchstgeschwindigkeit und Ihre derzeitige Geschwindigkeit angezeigt.

9.3.7 Statistischer Anhang Studie 2

Tabelle 15: Post-hoc Tests für die Einflussgröße „Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge“ hinsichtlich der abhängigen subjektiven Bewertungen.

	Durchdringungsrate	Durchdringungsrate			
		0%	25%	50%	75%
Gesamtbewertung	0%	-	< .001	.077	.010
	25%	.077	-	.150	.221
	50%	.010	.150	-	.761
	75%	.010	.221	.761	-
Komfort	0%	-	.028	.012	.023
	25%	.028	-	.590	.476
	50%	.012	.590	-	.694
	75%	.023	.476	.694	-
Effizienz	0%	-	.017	.010	.005
	25%	.017	-	.230	.010
	50%	.010	.230	-	.724
	75%	.005	.010	.724	-
Anstrengung	0%	-	.055	.126	.078
	25%	.055	-	.924	.637
	50%	.126	.924	-	.652
	75%	.078	.637	.652	-
Durchdringungsrate	0%	-	.766	.073	< .001
	25%	.766	-	.036	< .001
	50%	.073	.036	-	< .001
	75%	< .001	< .001	< .001	-

Tabelle 16: Post-hoc Tests für die Einflussgröße „Kennzeichnung“ hinsichtlich der erhobenen Fragebogendaten.

	Kennzeichnung	Kennzeichnung		
		Mit Kennzeichnung	Keine Kennzeichnung	Kontrollgruppe
Gesamtbewertung	Mit Kennzeichnung	-	.304	.616
	Keine Kennzeichnung	.304	-	.574
	Kontrollgruppe	.616	.574	-
Komfort	Mit Kennzeichnung	-	.925	.755
	Keine Kennzeichnung	.925	-	.825
	Kontrollgruppe	.755	.825	-
Effizienz	Mit Kennzeichnung	-	.332	.755
	Keine Kennzeichnung	.332	-	.488
	Kontrollgruppe	.755	.488	-
Anstrengung	Mit Kennzeichnung	-	.356	.688
	Keine Kennzeichnung	.356	-	.580
	Kontrollgruppe	.688	.580	-
Durchdringungsrate	Mit Kennzeichnung	-	.362	-
	Keine Kennzeichnung	.362	-	-
	Kontrollgruppe	-	-	-

Tabelle 17: Post-hoc Tests für die Einflussgröße „Kennzeichnung“ hinsichtlich der gemessenen Fahrdaten.

	Kennzeichnung	Kennzeichnung		
		Mit Kennzeichnung	Keine Kennzeichnung	Kontrollgruppe
Mittlerer Sekundenabstand (130 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.342	.735
	Keine Kennzeichnung	.342	-	.525
	Kontrollgruppe	.735	.525	-
Minimaler Sekundenabstand (130 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.883	.976
	Keine Kennzeichnung	.860	-	.860
	Kontrollgruppe	.883	.976	-
Anteil sicherheitskritischer Sekundenabstände (130 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.596	.555
	Keine Kennzeichnung	.596	-	.279
	Kontrollgruppe	.555	.279	-
Mittlerer Sekundenabstand (100 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.164	.844
	Keine Kennzeichnung	.164	-	.237
	Kontrollgruppe	.844	.237	-
Minimaler Sekundenabstand (100 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.405	.914
	Keine Kennzeichnung	.405	-	.476
	Kontrollgruppe	.914	.476	-
Anteil sicherheitskritischer Sekundenabstände (100 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.379	.354
	Keine Kennzeichnung	.379	-	.079
	Kontrollgruppe	.354	.079	-
Mittlerer Sekundenabstand (80 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.036	.420
	Keine Kennzeichnung	.036	-	.116
	Kontrollgruppe	.420	.116	-
Minimaler Sekundenabstand (80 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.057	.371
	Keine Kennzeichnung	.057	-	.217
	Kontrollgruppe	.371	.217	-
Anteil sicherheitskritischer Sekundenabstände (80 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.384	.210
	Keine Kennzeichnung	.384	-	.040
	Kontrollgruppe	.210	.040	-
Durchschnittsgeschwindigkeit (130 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.468	.815
	Keine Kennzeichnung	.468	-	.611
	Kontrollgruppe	.815	.611	-
Variabilität der Geschwindigkeit (130 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.846	.876
	Keine Kennzeichnung	.846	-	.969
	Kontrollgruppe	.876	.969	-
Durchschnittsgeschwindigkeit (100 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.174	.306
	Keine Kennzeichnung	.174	-	.721
	Kontrollgruppe	.306	.721	-
Variabilität der Geschwindigkeit (100 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.324	.325
	Keine Kennzeichnung	.324	-	.999
	Kontrollgruppe	.325	.999	-
Durchschnittsgeschwindigkeit (80 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.185	.234
	Keine Kennzeichnung	.185	-	.887
	Kontrollgruppe	.234	.887	-
Variabilität der Geschwindigkeit (80 km/h)	Mit Kennzeichnung	-	.476	.286
	Keine Kennzeichnung	.476	-	.711
	Kontrollgruppe	.286	.711	-

Tabelle 18: Post-hoc Tests für die Einflussgröße „Durchdringungsrate automatisierter Fahrzeuge“ hinsichtlich der gemessenen Fahrdaten.

	Durchdringungsrate	Durchdringungsrate			
		0%	25%	50%	75%
Mittlerer Sekundenabstand (130 km/h)	0%	-	.507	.012	<.001
	25%	.507	-	.067	.001
	50%	.012	.067	-	.172
	75%	<.001	.001	.172	-
Minimaler Sekundenabstand (130 km/h)	0%	-	.641	.808	.180
	25%	.641	-	.924	.045
	50%	.808	.924	-	.167
	75%	.180	.045	.167	-
Anteil sicherheitskritischer Sekundenabstände (130 km/h)	0%	-	.861	.015	.049
	25%	.861	-	.005	.048
	50%	.015	.005	-	.544
	75%	.049	.048	.544	-
Mittlerer Sekundenabstand (100 km/h)	0%	-	.990	.677	.431
	25%	.990	-	.720	.345
	50%	.677	.720	-	.556
	75%	.431	.345	.556	-
Minimaler Sekundenabstand (100 km/h)	0%	-	.063	.963	.413
	25%	.063	-	.088	.312
	50%	.963	.088	-	.319
	75%	.413	.312	.319	-
Anteil sicherheitskritischer Sekundenabstände (100 km/h)	0%	-	.694	.079	.024
	25%	.694	-	.088	.084
	50%	.079	.088	-	.247
	75%	.024	.084	.247	-
Mittlerer Sekundenabstand (80 km/h)	0%	-	.769	.245	.003
	25%	.769	-	.041	<.001
	50%	.245	.041	-	.015
	75%	.003	<.001	.015	-
Minimaler Sekundenabstand (80 km/h)	0%	-	.932	.415	.001
	25%	.932	-	.168	<.001
	50%	.415	.168	-	.005
	75%	.001	<.001	.005	-
Anteil sicherheitskritischer Sekundenabstände (80 km/h)	0%	-	.556	.276	.113
	25%	.556	-	.123	.047
	50%	.276	.123	-	.601
	75%	.113	.047	.601	-
Durchschnittsgeschwindigkeit (130 km/h)	0%	-	.006	.040	.008
	25%	.006	-	.968	.108
	50%	.040	.968	-	.045
	75%	.008	.108	.045	-
Variabilität der Geschwindigkeit (130 km/h)	0%	-	<.001	.038	.001
	25%	<.001	-	.173	.225
	50%	.038	.173	-	.025
	75%	.001	.225	.025	-
Durchschnittsgeschwindigkeit (100 km/h)	0%	-	.005	.004	.007
	25%	.005	-	.616	.315
	50%	.004	.616	-	.375
	75%	.007	.315	.375	-
Variabilität der Geschwindigkeit (100 km/h)	0%	-	.458	.645	.692
	25%	.458	-	.700	.342
	50%	.645	.700	-	.367
	75%	.692	.342	.367	-
Durchschnittsgeschwindigkeit (80 km/h)	0%	-	.100	.035	<.001
	25%	.100	-	.493	.005
	50%	.035	.493	-	.013
	75%	<.001	.005	.013	-
Variabilität der Geschwindigkeit (80 km/h)	0%	-	.148	.694	.257
	25%	.148	-	.060	.909
	50%	.694	.060	-	.029
	75%	.257	.909	.029	-



Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

Wilhelmstraße 43 / 43G

10117 Berlin

Postfach 08 02 64

10002 Berlin

Tel. 030/2020-5000

Fax 030/2020-6000

berlin@gdv.org, unfallforschung@gdv.de

www.gdv.de, www.udv.de