



## 10. VDI-Fachtagung

# Mensch-Maschine-Mobilität 2019

Der (Mit-)Fahrer im 21. Jahrhundert!?

Braunschweig, 05. und 06. November 2019

Bildquelle: iStock – a-image



**VDI-BERICHTE**  
Herausgeber:  
VDI Wissensforum GmbH

**Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie;  
detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek (German National Library)**

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography);  
detailed bibliographic data is available via Internet at [www.dnb.de](http://www.dnb.de).

**© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2019**

Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdruckes, der Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie), der Speicherung in  
Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, auszugsweise oder vollständig.

Der VDI-Bericht, der die Vorträge der Tagung enthält, erscheint als nichtredigierter Manuscriptdruck.

Die einzelnen Beiträge geben die auf persönlichen Erkenntnissen beruhenden Ansichten und Erfahrungen der jeweiligen  
Vortragenden bzw. Autoren wieder. Printed in Germany.

ISSN 0083-5560

ISBN 978-3-18-092360-4

# Inhalt

## ► Akzeptanz: Erstkontakt mit autonomem Fahren

Automation ohne Unsicherheit: Vorstellung des Förderprojekts AutoAkzept zur Erhöhung der Akzeptanz automatisierten Fahrens . . . . .	1
U. Drewitz, K. Ihme, M. Oehl, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR), Braunschweig; F. Schrödel, R. Voßwinkel, IAV GmbH, Entwicklungszentrum Chemnitz/Stollberg; F. Hartwich, C. Schmidt, Technische Universität Chemnitz; A.-A. Pape, T. Fleischer, S. Cornelsen, TWT Science & Innovation GmbH; A. Lüdtke, D. Gräfing, A. Trende, OFFIS Institut für Informatik, Oldenburg	

Der Erstkontakt mit vollautomatisiertem Fahren – Ergebnisse aus drei Studien im Wizard of Oz-Fahrzeug . . . . .	21
L. Gauer, I. Totzke, Audi Electronics Venture GmbH, Gaimersheim; M. Zehetleitner, Psychologie II, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt	

ADAS Pick & Mix – A use case based approach to the naming and configuration of advanced driver assistance systems . . . . .	37
T. Vogelpohl, Spiegel Institut Ingolstadt GmbH, Ingolstadt; N. Pärsch, F. Doubek, L. W. H. Krauß, Porsche AG, Weissach	

## ► Kontrollierbarkeit: Übergabesituationen Mensch-Maschine

Erfassung der Fahrerübernahmefähigkeit im automatisierten Fahren anhand von Fahrerbeobachtungen . . . . .	53
N. D. Herzberger, G. M. I. Voß, RWTH Aachen University, Aachen; M. Schwalm, e.ZGO GmbH, Aachen; F. Flemisch, Fraunhofer Institut FKIE, Wachtberg; E. Schmidt, A. Sitter, Ford Research and Innovation Center, Aachen	

Innenraumbeobachtung für die kooperative Übergabe zwischen hochautomatisierten Fahrzeugen und Fahrer . . . . .	67
M. Martin, M. Voit, Fraunhofer IOSB, Karlsruhe; J. Ludwig, A. Roitberg, M. Flad, S. Hohmann, R. Stiefelhagen, Karlsruhe Institut für Technologie	

Stillstehendes Lenkrad im automatisierten Fahrzeug: Fahrerübergabe, Sicherheits-empfinden & Komfort . . . . .	81
J. Sterthoff, V. Stange, A. Hafner, R. Henze, F. Küçükay, M. Vollrath, Technische Universität Braunschweig	

---

## ► Komfort: Der Mensch im automatisierten Fahrzeug

<b>Der Beifahrer: Ein vernachlässigter Passagier – Entwicklung und Evaluation eines Beifahrerassistenzsystems . . . . .</b>	<b>95</b>
S. Ittner, D. Mühlbacher, WIVW GmbH, Veitshöchheim;	
T. H. Weisswange, Honda Research Institute Europe GmbH, Offenbach;	
M. Vollrath, Technische Universität Braunschweig;	
A. Neukum, WIVW GmbH, Veitshöchheim	
<b>Highly Automated Driving in the Real World – A Wizard-of-Oz Study on User Experience and Behavior . . . . .</b>	<b>109</b>
C. Marberger, D. Manstetten, Robert Bosch GmbH, Renningen;	
C. Klöffel, Universität Würzburg, Würzburg	
<b>Müdigkeit und Vigilanz in einer automatisierten Realfahrt . . . . .</b>	<b>121</b>
A. Frey, Federal Highway Research Institute (BASt), Bergisch Gladbach	
<b>Gestaltung der Interaktion von Fußgängern mit automatisierten Fahrzeugen – Ergebnisse einer Virtual-Reality Studie . . . . .</b>	<b>133</b>
C. Kettwich, J. Dodiya, M. Wilbrink, A. Schieben, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig	
<b>HMI for external communication – Kann die Fahrzeugbewegung als Kommunikationskanal zwischen einem Fahrzeug und einem Fußgänger dienen? . . . . .</b>	<b>145</b>
I. Othersen, Volkswagen Aktiengesellschaft, Wolfsburg;	
S. Cramer, AUDI AG, Ingolstadt;	
C. Salomon, Spiegel Institut Ingolstadt GmbH, Ingolstadt	
<b>Die Kunst der impliziten Kommunikation zwischen Auto- und Radfahrenden in Kreuzungen . . . . .</b>	<b>155</b>
M. Dotzauer, M. Junghans, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Berlin;	
M. Zhang, C. Schießl, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Braunschweig	
<b>Menschliche Reaktionen auf hochautomatisierte Fahrzeuge im Mischverkehr auf der Autobahn . . . . .</b>	<b>169</b>
M. Kühn, Unfallforschung der Versicherer, Berlin;	
V. Stange, M. Vollrath, Technische Universität Braunschweig	

# Automation ohne Unsicherheit: Vorstellung des Förderprojekts AutoAkzept zur Erhöhung der Akzeptanz automatisierten Fahrens

**Uwe Drewitz, Klas Ihme, Michael Oehl,**

Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR), Braunschweig;

**Frank Schrödel, Rick Voßwinkel,**

IAV GmbH, Entwicklungszentrum Chemnitz/Stollberg;

**Franziska Hartwich, Cornelia Schmidt,**

Technische Universität Chemnitz;

**Anna-Antonia Pape, Tobias Fleischer, Sonja Cornelsen,**

TWT Science & Innovation GmbH;

**Andreas Lüdtke, Daniela Gräfing, Alexander Trende,**

OFFIS Institut für Informatik, Oldenburg

## 1. Kurzfassung

Die Akzeptanz und somit Verbreitung von Systemen automatisierten und vernetzten Fahrens (AVF) wird maßgeblich durch den Grad an subjektiver Sicherheit bestimmt, den Nutzer bei der Interaktion mit den automatisierten Fahrzeugen empfinden. Nutzerseitige Akzeptanz wird insbesondere durch Empfindungen von Unsicherheit im Umgang mit automatisierten Fahrzeugen negativ beeinflusst. Das Projekt AutoAkzept entwickelt Lösungen nutzerfokussierter Automation, die die Fahrzeuginsassen ins Zentrum der Systementwicklung stellt und so deren Unsicherheit reduziert. Systeme nutzerfokussierter Automation erfassen dazu über verschiedene Sensoren Unsicherheit und deren beitragende Faktoren (z.B. Stress, Kinetose, Aktivität) in Echtzeit, integrieren diese Informationen mit Kontextdaten und leiten daraus den aktuellen Bedarf der Fahrzeuginsassen ab. In Nutzerstudien in Fahrsimulatoren und Realfahrzeugen werden mit Hilfe multimodaler Sensorik fahrzeugbezogene Informationen sowie physiologische und behaviorale Daten der Nutzer erhoben. Unter Anwendung von Methoden maschinellen Lernens entwickelt AutoAkzept auf Basis dieser Daten echtzeitfähige Algorithmen und Modelle zur Abbildung von situativen Kontexten, Nutzerzuständen und Anpassungsbedarfen. Zielstellung von AutoAkzept ist die Entwicklung erfolgversprechender Anpassungsstrategien zur Verbesserung des Nutzererlebens auf Basis der identifizierten unsicherheitsbezogenen Bedarfe. Dadurch gewährleisten die Entwicklungen des Projekts, durch Reduktion oder Vorbeugung von subjektiven Unsicherheiten, ein positives, komfortables Nutzungserleben und tragen zur Erhöhung der Akzeptanz für AVF bei.

## 2. Einleitung

Die Innovationen Automatisierten und Vernetzten Fahrens (AVF) begegnen zahlreichen gesellschaftlichen Herausforderungen auf grundlegend neue Art. AVF-gestützte, bedarfsorientierte Verkehrsplanung und Mobilitätsdienstleistungen stellen durch effizientere Nutzung verkehrlicher (Infra-)Strukturen und Systeme eine substantielle Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in Sicht, verbunden mit einer Entlastung von Straßen und Parkraum in den Städten und einer Zunahme verkehrlicher Sicherheit. Die Übernahme transportbezogener Tätigkeiten durch AVF-Systeme verspricht für ihre Nutzer einen Gewinn an Komfort und nutzbarer Zeit. Nicht zuletzt stellt AVF einen Zugewinn an Mobilität und Reisefreiheit für Personen in Aussicht, die nicht selbständig ein Fahrzeug steuern können. AVF kann diese Versprechen allerdings nur halten, wenn die zugehörigen Technologien und technischen Systeme in absehbarer Zeit einen hohen Verbreitungsgrad erreichen. Eine zentrale Voraussetzung dafür ist die Akzeptanz von Nutzern und Betroffenen zukünftiger AVF-Systeme [1]. Sie wird maßgeblich durch den Grad an Vertrauen und subjektiver Sicherheit bestimmt, den Nutzer und Betroffene, wie Fußgänger, Radfahrer und Fahrer traditioneller Fahrzeuge, bei der Interaktion mit den automatisierten Fahrzeugen empfinden [2] [3] [4]. Im Projekt AutoAkzept werden deshalb Grundlagen und Lösungen für eine *Automation ohne Unsicherheit* erarbeitet, die der Gewährleistung hoher Akzeptanz automatisierten und vernetzten Fahrens dienen und zum Erfolg dieser neuen Technologie beitragen. Im Fokus des Projektes stehen die Nutzer zukünftiger AVF-Systeme.

Die Automatisierung des Fahrens verändert die Rolle des Menschen. Vollautomatisierte Fahrzeugfunktionen werden für spezifische Anwendungsfälle alle Kontroll- und Überwachungsaufgaben übernehmen, die im traditionellen Kraftfahrzeug vom Menschen ausgeführt werden. Ein Mangel an Kontrolle kann bei den Nutzern vollautomatisierter Fahrzeuge jedoch zu Unsicherheit [5] und einem Mangel an Vertrauen führen [6]. Der versprochene Gewinn durch Entlastung und nutzbare Zeit für andere Tätigkeiten löst sich für die Nutzer dieser Systeme aber nur ein, wenn die Nutzung nicht mit subjektiver Unsicherheit und fehlendem Vertrauen verbunden ist [7]. Fehlendes Wissen zum Umgang mit diesen neuen Systemen kann bei Nutzern beispielsweise subjektive Unsicherheit hinsichtlich ihres Gebrauchs hervorrufen. Forschungsarbeiten zeigen, dass Nutzer im Zusammenhang mit der Geschwindigkeits- und Manöverwahl der Fahrzeuge Verstehens-, Antizipations- und Bewertungsunsicherheit [8] verspüren können. Nicht zuletzt kann die Ausführung fahrfremder Tätigkeiten, z.B. die Arbeit im Mobile Office, Unsicherheiten darüber erzeugen, ob es zum Auftreten von Kinetose kommt oder ob die Zeit bis zum Ziel oder Erreichen einer Systemgrenze ausreicht, die aktuelle Aufgabe fertigzustellen. Das Erleben solcher

subjektiven Unsicherheiten im Umgang mit AVF mindert das Vertrauen der Nutzer und verringert ihre Akzeptanz. Deshalb muss die direkte Erfahrung mit den automatisierten Fahrzeugen die Ausbildung von Vertrauen unterstützen, indem das Auftreten subjektiver Unsicherheiten minimiert wird. Dafür ist es wichtig, dass zentrale Bedürfnisse (*needs*) der Nutzer berücksichtigt werden. Aktuelle Arbeiten ([9], [10]) verweisen hier auf die Relevanz der Beachtung von Informationsbedürfnissen (*information needs*) von Nutzern und verkehrlichen Interaktionspartnern automatisierter Fahrzeuge. Die Beachtung dieser Bedürfnisse legt die Grundlage zur Vermeidung der Unsicherheiten von Nutzern automatisierter Fahrzeuge [11]. AutoAkzept stellt deshalb die Bedürfnisse von Nutzern von AVF in den Mittelpunkt und entwickelt Lösungen zur Reduktion nutzerseitiger Unsicherheiten auf Basis nutzerfokussierter Systeme.

### 3. Nutzerfokussierte Automation

Traditionelle Ansätze der Gestaltung automatisierter Systeme vernachlässigen grundlegende Bedürfnisse des Menschen und bringen Systeme hervor, die aus der Sicht ihrer Nutzer intransparent erscheinen oder tatsächlich intransparent sind. Aufgrund dieser Intransparenz können Personen, die mit solchen Systemen interagieren, die Gründe für die Aktionen einer Automation nicht nachvollziehen und ihre nächsten Aktionen nicht vorhersagen. Unterstützt wird dieser, für den Menschen nachteilige Gestaltungsansatz häufig zusätzlich durch die Notwendigkeit sich in der Interaktion mit dem technischen System an die maschinelle Kommunikationsweise anzupassen. Die ist ein Aspekt, den beispielsweise die Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren kritisiert hat [12]. Derart gestaltete Systeme bergen das Risiko, dass Menschen bei ihrer Nutzung subjektive Unsicherheiten erleben, verbunden mit den negativen Konsequenzen für ihre Akzeptanz und Nutzungsintention. Im Gegensatz dazu verfolgt AutoAkzept den Ansatz einer nutzerfokussierten Automation. Dieser stellt zwei grundlegende menschliche Bedürfnisse in den Mittelpunkt der Systemgestaltung: das Bedürfnis zu verstehen (*need to understand*, [13]) und das Bedürfnis verstanden zu werden (*need to be understood*, z.B. [14] [15]). Das Bedürfnis zu verstehen, das eng mit den *information needs* (s.o) verbunden ist, ist entscheidend für die erfolgreiche, zielgerichtete Interaktion mit der Umgebung sowie mit jedem Artefakt oder System. Es bildet die Grundlage für den Erwerb und die Anwendung von Wissen, welches Dingen und Aspekten der Welt Bedeutung verleiht, sowie Verständnis und Vorhersagbarkeit ermöglicht. Für die Berücksichtigung dieses Bedürfnisses muss die Gestaltung automatisierter Systeme sicherstellen, dass Technologien und technische Systeme nicht nur tun was sie versprechen, sondern auch was ihre Nutzer sich vorstellen. Automatisierte Systeme, die von Menschen genutzt und akzeptiert werden sollen, müssen

sich vorhersagbar verhalten. Und zwar so, dass Menschen sie verstehen, ohne sie jemals zuvor benutzt zu haben. Die Umsetzung dieser Anforderung stellt sicher, dass die Systeme für ihre Benutzer transparent sind, so dass sie die Funktionen und Funktionsweisen des Systems leicht ableiten können und mit geringstem Aufwand verstehen, wie das System funktioniert.

Das Bedürfnis verstanden zu werden dagegen ist unerlässlich, um eine Beziehung aufzubauen, um sich wohl, gesehen und respektiert zu fühlen. Die Befriedigung dieses Bedürfnisses legt den Grundstein für mehr Sympathie, Vertrauen, die Minderung negativer Einflüsse (z.B. Stress) und das Erleben positiver Affekte. Automatisierte Fahrzeuge sollten deshalb wissen, ob ihre Nutzer unsicher, gestresst oder nervös sind und entsprechend reagieren. Sie müssen dabei erkennen können, wann es angebracht ist Informationen bereitzustellen und wann nicht. Zu diesem Zweck müssen diese Systeme den Menschen fokussieren und in der Lage sein, die unterschiedliche Natur verschiedener menschlicher Zustände, sich daraus ableitender Bedürfnisse und Absichten zu berücksichtigen. In Abbildung 1 ist dieser nutzerfokussierte Ansatz zur Automationsgestaltung dem traditionellen Ansatz schematisch gegenübergestellt.

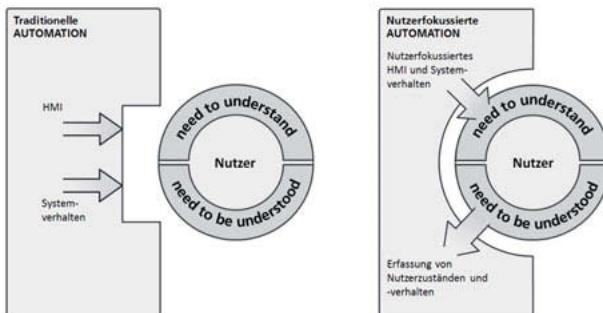


Abbildung 1. Ansätze der Systemgestaltung ohne (links) und mit (rechts) Bezug zu den grundlegenden Nutzerbedürfnissen *need to understand* und *need to be understood*.

#### 4. Methodischer Ansatz

Für die Entwicklung und Umsetzung nutzerfokussierter Automation zur Erhöhung der Akzeptanz von AVF werden im Projekt AutoAkzept drei Szenarien automatisierten Fahrens (SAE Level 4-5) verfolgt, in denen jeweils subjektive Unsicherheit von Nutzern auftritt, ausgelöst durch fehlende Vorhersagbarkeit:

- (1) Mobile Office und Erreichen der Systemgrenze: Ein Fahrzeuginsasse arbeitet in seinem automatisierten Interurban Vehicle. Der Nutzer ist verunsichert, da er nicht vorhersagen

kann, ob die Zeit bis zum Erreichen der Systemgrenze auf der geplanten Route ausreicht, um die aktuell dringende Aufgabe abzuschließen. Das System ist in der Lage diese Aktivität (Arbeiten am Laptop) von anderen Aktivitäten (etwa Entspannen) zu unterscheiden und bewertet den Kontext. Das System leitet mit Hilfe des integrierten Situationsmodells aus Kontext- und Nutzerinformationen den Bedarf zur anteiligen Verlängerung der automatisiert gefahrenen Zeit und schlägt eine Anpassung der Route vor.

(2) Fehlende Erfahrung mit RoboTaxis: Ein Fahrzeuginsasse eines autonomen Fahrzeuges ist sich während der Fahrt unsicher darüber, ob das Fahrzeug in der Lage ist, bestimmte Verkehrssituationen sicher zu durchfahren. Diese Unsicherheit wird vom Fahrzeug erkannt und im integrierten Situationsmodell interpretiert. Unter Zuhilfenahme vorhandener Nutzerprofile werden der spezifische Bedarf zur Verbesserung des Fahrerzustandes abgeleitet und entsprechende Interventionen zur Reduktion der Unsicherheit (z.B. Anpassung des Fahrstils oder Informationsmanagements) vorgenommen.

(3) Vorbeugung von Kinetose: Im hochautomatisierten Modus kann ein Fahrzeug bestimmen, wann für den Insassen die Gefahr von Kinetose droht. Diesem Stressor und der damit verbundenen Unsicherheit über das eigene Wohlbefinden während der weiteren Fahrt wird entgegengewirkt, indem es dem Insassen durch Kommunikation des Fahrzeugverhaltens ermöglicht wird, auftretende Kräfte zu antizipieren und ihnen muskulär entgegenzuwirken. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Kinetose wird dadurch verringert und auftretende Kinetose wird abgemildert.

Zu diesen Szenarien werden in AutoAkzept in Nutzerstudien in Fahrsimulatoren und Realfahrzeugen mit Hilfe multimodaler Sensorik physiologische und behaviorale Daten der Nutzer sowie fahrzeug- und situationsbezogene Informationen erhoben. Unter Anwendung von Methoden maschinellen Lernens werden auf Basis dieser Daten echtzeitfähige Algorithmen und Modelle zur Abbildung von situativen Kontexten, Nutzerzuständen und Anpassungsbedarfen entwickelt. Im Rahmen einer definierten Architektur nutzerfokussierter Automation erzeugen die resultierenden Modelle, sowie gelernte Nutzerprofile fusionierte Eingangsdaten für die Ableitung von Adoptionsstrategien zur Verbesserung der Nutzerzustände. Die Architektur ist in Abbildung 2 dargestellt.

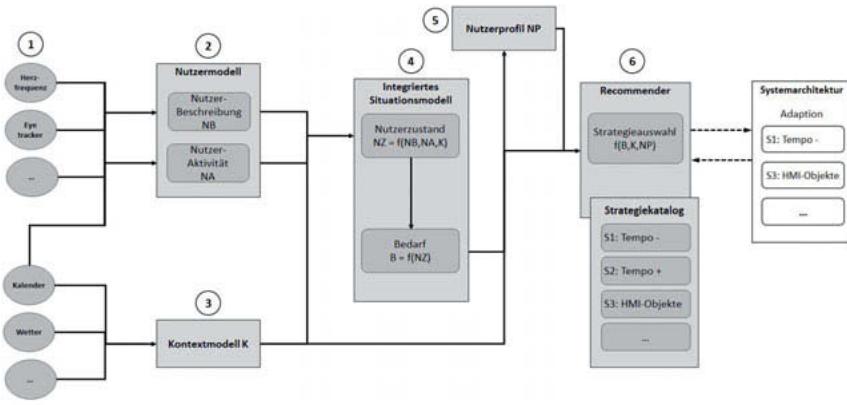


Abbildung 2. Nutzerfokussierte Automation: Modellarchitektur zur Bedarfsableitung und Adoptionsauswahl.

#### 4.1. Modellarchitektur in AutoAkzept

In der Architektur nutzerfokussierter Automation zur Bedarfsableitung und Adoptionsauswahl (vgl. Abbildung 2) können sechs Komponenten unterschieden werden: (1) Multimodaler sensorischer Input & Datenquellen, (2) das Nutzermodell, (3) das Kontextmodell, (4) das integrierte Situationsmodell, (5) das Nutzerprofil und (6) der Recommender zur Strategieauswahl inklusive des Strategiekatalogs.

- (1) liefert die in Echtzeit benötigten Daten (physiologische und simple behaviorale Daten) zur Modellierung des Nutzers und seiner Aktivität
- (2) liefert eine Echtzeitklassifizierung von Nutzermerkmalen (Nutzerbeschreibung, z.B. „ist erregt“) und der Nutzeraktivität (z.B. „liest“)
- (3) bildet relevante kontextuelle Merkmale, Faktoren (und Zusammenhänge zwischen diesen) ab (z.B. TTC zum Vorderfahrzeug, Wetter und Straßentyp etc.)
- (4) klassifiziert auf Basis von (2) und (3) den aktuellen Nutzerzustand (z.B. „unsicher“) und leitet daraus einen aktuellen Bedarf für Anpassungen des Systemverhaltens (Fahrstil, Interieur, Human-Machine-Interface (HMI)) ab
- (5) enthält Informationen über Präferenzen, nicht-transiente Merkmale (z.B. Alter) und Historie zu erfolgten Anpassungen einschl. Bewertung des jeweiligen Erfolgs der Anpassung
- (6) bestimmt auf Basis von (4) und (5) die aktuelle bestmögliche Anpassung unter Nutzung eines Strategiekatalogs, in dem ausgewählte Anpassungsstrategien für verschiedenen Modalitäten der Systemanpassung (Fahrstil, Routing, Interieur, HMI) hinterlegt sind, und übergibt die Auswahl an die Systemarchitektur.

Die zentralen Aufgaben und Funktionen der einzelnen Komponenten der Architektur des integrierten Situationsmodells werden im Folgenden dargestellt.

## 4.2. Funktionalität der Komponenten

### 4.2.1. Sensorik

Die Modellierung von Nutzer und Kontext erfordert die Berücksichtigung und Integration von Daten aus verschiedenen Quellen. Für den Nutzer können dies etwa auf das Gesicht oder den Körper gerichtete Kameras sein. Zur Erfassung der Verkehrssituation bieten sich etwa LIDAR- oder RADAR-Sensoren an. Zusätzlich können aus Informationsdiensten GPS, Wetterdaten oder Kalenderinformationen mit integriert werden. Teile der Sensordaten werden direkt als Rohdatum in Nutzer- und Kontextmodell überführt, aus anderen können sensorseitig durch Softwaretools Parameter höherer Ebene abgeleitet werden. Manche Datenquellen können dabei sowohl das Nutzermodell als auch das Kontextmodell befüllen (etwa Kalenderinformationen). Die Gesamtarchitektur ist dabei so gestaltet, dass neue Sensoren, die komplementäre Informationen liefern, bei Bedarf ergänzt werden können.

### 4.2.2. Nutzermodell

Im Nutzermodell werden die Roh- bzw. extrahierten Daten aus der Sensorik integriert und daraus Informationen über den Nutzer abgeleitet. In AutoAkzept werden zwei Arten von Informationen getrennt voneinander verarbeitet und integriert, die Nutzerbeschreibung und die Nutzeraktivität. Das Modul Nutzeraktivität hat die Funktion aus den Sensordaten bedeutungsvolle Informationseinheiten abzuleiten, die Primitiven. Diese sind als kleinstsinnvolle Einheiten der Nutzerbeschreibung anzusehen und werden genutzt, um beispielsweise die Haltung, die Bewegung, die Erregung oder den Gesichtsausdruck des Nutzers zu beschreiben. Die Nutzerbeschreibungen werden einerseits für die Nutzerzustands-bestimmung direkt an das integrierte Situationsmodell weitergereicht und andererseits innerhalb des Nutzermodells zur Bestimmung der Nutzeraktivität weiterverwendet.

### 4.2.3. Kontextmodell

Das Kontextmodell enthält Informationen aus der Umgebung des Nutzers, die voraussichtlich Einfluss auf den Nutzerzustand nehmen können und deshalb notwendig für die Beschreibung des aktuellen Kontextes sind. Dies umfasst Informationen zum eigenen Fahrzeugverhalten, zum umgebenden Verkehr (Abstände, Geschwindigkeiten, etc.) und Informationen zur allgemeinen Verkehrssituation (Straßentyp, Verkehrsaufkommen, etc.). Im Kontextmodell werden aus diesen Informationen als Submodelle ein makroskopischer und ein mikroskopischer Kontext gebildet, die jeweils notwendigen Parameter dafür bestimmt und als Kontextinformationen an das integrierte Situationsmodell weitergeleitet. Das makroskopische Kontextmodell klassifiziert den Kontext etwa auf Basis von GPS-Daten und Routing-Services in abstraktere Kategorien, wie Landstraßen oder Stadtfahrt (vgl. [16])

Anschließend kann das mikroskopische Kontextmodell entsprechend der gegebenen Verkehrssituation die für das integrierte Situationsmodell notwendigen Parameter (etwa Geschwindigkeit oder Time Headway) aus der Fahrzeugsensorik sammeln und gegebenenfalls vorverarbeiten. Zudem können Parameter bzgl. anderer Verkehrsteilnehmer mithilfe von V2X-Infrastruktur erhalten werden. Die Daten aus dem Kontextmodell fließen in das integrierte Situationsmodell, die Bedarfsableitung, sowie das Nutzerprofil.

#### **4.2.4. Situationsmodell**

Das integrierte Situationsmodell hat die Aufgabe, aus den Informationen über Nutzer und Kontext, die von Nutzermodell und Kontextmodell übergeben werden, den aktuellen Nutzerbedarf abzuleiten. Die Integration von Nutzermodelloutput (Nutzerbeschreibung und -aktivität) und Kontextinformationen dient hierbei der Interpretation der Nutzerbeschreibung mit dem Ziel den aktuellen Nutzerzustand zu bestimmen. Unter Hinzunahme der Kontextinformationen erfolgt im ersten Schritt eine probabilistische Attribution auf mögliche Ursachen für die erfassten Nutzerdaten und eine Klassifikation des Nutzerzustandes. Das gewonnene Wissen über die Ursachen des Nutzerzustands (z.B. in der Form, dass der Nutzer Unsicherheit verspürt, weil er nicht weiß, ob querende Fußgänger erkannt wurden) ist essentiell. Es ist zentrale Voraussetzung für die Ableitung des nutzerzustandsspezifischen Anpassungsbedarfs (z.B. Bedarf für die Erhöhung der Transparenz der Automation zur Berücksichtigung des *need to understand*) im zweiten Schritt und der nachfolgenden, zugeschnittenen Auswahl der Adoptionsstrategie zur Reduktion von Unsicherheit durch den Recommender.

#### **4.2.5. Nutzerprofil**

Für jeden Nutzer wird ein Nutzerprofil angelegt, das Informationen über individuelle Nutzereigenschaften sowie situationsbezogene Bedarfe erfasst und daraus Aussagen über persönliche Präferenzen für das Systemverhalten ableitet. Über den Verlauf einer oder mehrerer Fahrten werden Situations- und Nutzerdaten aufgenommen und genutzt, um Adaptionseffekte nachzuverfolgen und Nutzerfeedback in die Auswahl der Anpassungsstrategie einzubeziehen. Die Daten gehen in ein Präferenzmodell ein, das während der Fahrt aktualisiert wird und so im Fahrtverlauf zunehmend genauer die individuellen Nutzerpräferenzen abbildet. Die Präferenzen werden an den Recommender übergeben, welcher die Adoptionsstrategie so an den einzelnen Nutzer anpassen und subjektive Unsicherheiten effektiv reduzieren kann.

#### **4.2.6. Recommender**

Die Aufgabe des Recommenders ist es, die besten Anpassungen aus einer Vielzahl von möglichen Anpassungen zur Verringerung von Unsicherheit im Fahrzeug in Echtzeit

auszuwählen. In Frage kommen dabei Anpassungen des HMI, allgemein am Interieur des Fahrzeugs oder des Fahrstils (s.u.). Um die beste Strategie in Abhängigkeit des bekannten Bedarfs auszuwählen, verarbeitet der Recommender detaillierte aktuelle Informationen über den Nutzerzustand, den Kontext, und die im Situationsmodell erkannte, wahrscheinliche Ursache für den Nutzerzustand sowie nutzerspezifische Präferenzen. Mögliche Konflikte zwischen Kontext, Nutzerzustand und Nutzerpräferenzen werden gelöst und eine sichere Anpassung wird ausgewählt.

#### 4.2.7. Adoptionsstrategien

Ziel der Adoptionsstrategien ist, das Fahrzeugverhalten transparent, verständlich und anpassbar zu machen, um das Vertrauen und Nutzungserleben des Passagiers in einem autonomen oder vernetzten Fahrzeug positiv zu gestalten. Dafür arbeiten wir an Adoptionsstrategien aus drei Bereichen, die als nützlich identifiziert wurden: Dynamische Anpassungen an Inhalten und Aussehen des HMIs, Adaptionen des Fahrzeuginterieurs (etwa Innenraumlichtkonzept), und Adaptionen des Fahrstils. Das HMI besteht dabei aus einer Head-Up- und einer Head-Down-Komponente sowie einem ambienten Lichtdisplay [17], so dass ein breiter Gestaltungsspielraum bezüglich Inhalten, räumlicher Auflösung und zeitlicher Gestaltung der Informationskommunikation gegeben ist. Interieurangepassungen hingegen umfassen subtilere Anpassungen wie Beleuchtungsänderungen, die die Stimmung unterschwellig beeinflussen oder bestimmte Tätigkeiten des Nutzers unterstützen können.

### 5. Realisierung und aktueller Stand

In den folgenden Abschnitten ist der aktuelle Stand der Realisierung der Komponenten nutzerfokussierter Assistenz dargestellt.

#### 5.1. Use Cases und Einbeziehung von Nutzeranforderungen

Den Rahmen für die Entwicklungsaktivitäten bilden drei Use Cases (UCs), die verschiedene Situationen mit erhöhtem Risiko für Unsicherheitserleben im AVF abbilden und sich aus den oben beschriebenen Szenarien ableiten. Während die grundlegende Systemarchitektur für all diese Fälle anwendbar sein wird, unterscheiden sich die drei UCs in den adressierten Nutzerzuständen bzw. -aktivitäten, relevanten Aspekten des Kontextmodells und des Nutzerprofils sowie adäquaten Adoptionsstrategien. UC1 fokussiert den zeitlichen Stress eines Nutzers, der während der Fahrt dringende Aufgaben erledigen möchte, was von der nutzerfokussierten Automation durch eine geeignete Routenwahl sowie eine Anpassung des Innenraums berücksichtigt wird. UC2 adressiert die Verstehensunsicherheit von Nutzern, also die Unsicherheit über das Verhalten des automatisierten Fahrzeuges und dessen Fähigkeit zur sicheren Bewältigung der aktuellen Verkehrssituation, durch Erhöhung der

Systemtransparenz. In einer Sekundärdatenanalyse thematisch verwandter Forschungsprojekte ([8], [18], [9]) wurden potentielle Auslöser und Indikatoren für Verstehensunsicherheit identifiziert, auf deren Basis drei relevante Basisszenarien für UC2 definiert wurden: a) Ampelanfahrt mit Green-Light Optimized Speed Advisory System (GLOSA) im Pulk, b) Durchfahren eines Shared Space, c) Spurwechsel auf die Gegenfahrbahn zur Umfahrung eines Hindernisses. UC3 untersucht Möglichkeiten zur Vermeidung von Kinetose durch die Ankündigung von Fahrmanövern.

Die in den UCs definierten situativen und daraus abgeleiteten technischen Anforderungen werden durch Nutzeranforderungen ergänzt, welche in einer Reihe von Nutzerstudien mit Hilfe einer projektübergreifenden Methodenbasis erhoben werden. Diese Anforderungen umfassen die Bedürfnisse potentieller zukünftiger Nutzer bezüglich der Funktionalität (z.B. Fahrstilanpassung, Informationsbedarf) und Gestaltung (z.B. HMI-Gestaltung) der nutzerfokussierten Automation, welche iterativ in den Entwicklungsprozess integriert werden, um eine bedarfsgerechte Reduktion von Unsicherheit sowie Steigerung der Nutzerakzeptanz sicherzustellen.

## 5.2. Geplante Demonstratoren

Das Projekt arbeitet auf die Demonstration der Ergebnisse aller UCs hin. Als Demonstratoren werden dabei sowohl der DLR-Fahrtsimulator VRLabor (UC1) [19], sowie Versuchsträger der IAV GmbH (VW Passat Variant, VW e-Golf, VW Golf VII, siehe Abbildung 3, UC2) und des DLRs (ViewCar2, UC3) genutzt. Die IAV-Fahrzeuge sind mit einem umfangreichen Sensor-Setup, bestehend aus Kameras, RADAR- und LIDAR-Systemen, sowie einer V2X-Stack, ausgestattet, das Wahrnehmung und Kommunikation mit der Umwelt erlaubt. Die so aufgenommenen Daten werden durch zusätzliche Rechentechnik (dSpace MicroAutoBox und einen CarPC) im Kofferraum des Fahrzeugs verarbeitet, interpretiert und auf Basis von Entscheidungs- und Bewegungsplanungsalgorithmen sowie Fahrdynamikreglern in Steuerbefehle für die Fahrzeuge umgerechnet. Durch die direkte Kopplung dieser Rechner an das Bus-System des Fahrzeugs kann auf Grundlage der Umweltdaten das Fahrzeug automatisiert und vernetzt geführt werden (für Details, siehe [19]). Im Rahmen von AutoAkzept wurde dieses System um Fahrerüberwachungssensorik ergänzt. Der Zustand des Fahrers bzw. des Beifahrers wird über Kameras im Innenraum, einen Eye-Tracker, ein Physio-Messsystem und ein Microsoft Band detektiert. Die Verarbeitung dieser Daten erfolgt durch zwei NVIDIA Jetson AGX Xavier developer kits. Die Daten aus Umwelt- und Nutzerüberwachung werden über ROS-Schnittstellen (Robot-Operating-System) für die Kontext- und Nutzermodellierung zur Verfügung gestellt. Analog hierzu ist im DLR-VRLabor sowie Versuchsfahrzeug ViewCar2 eine Überwachung von

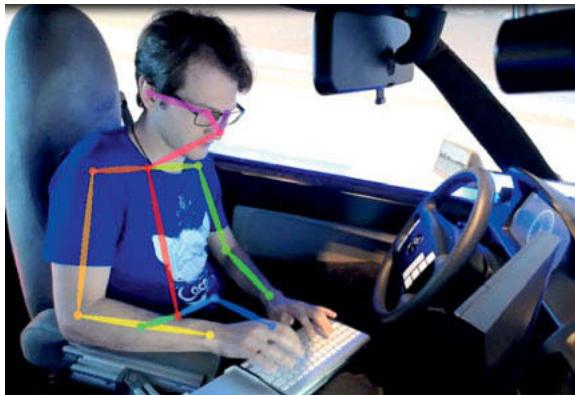
Nutzer und Kontext möglich. Darüber hinaus können in alle Demonstratoren HMI-Gestaltungselemente integriert werden und Fahrstilanpassungen vorgenommen werden. Die Demonstratoren stehen im Projekt für Datenerhebungen für das Nutzer- und Kontextmodell, sowie Entwicklungen der Anpassungsstrategien zur Verfügung.



Abbildung 3. Demonstratorfahrzeuge von IAV.

### 5.3. Entwicklung des Nutzermodells unter Einbeziehung des Datenkorpus

Zur Entwicklung des Nutzermodells wird in den oben genannten Demonstratoren sowie im Fahrsimulator der TU Chemnitz ein Datenkorpus erhoben, der Daten von Nutzern beim Durchführen verschiedener Tätigkeiten sowie dem Erleben von Stress und Unsicherheit in automatisierten Fahrzeugen enthält. Zur Füllung des Datenkorpus wurde bereits eine Studie im DLR-Fahrsimulator für UC1 durchgeführt, bei der die Probanden im Fahrzeug Mobile-Office-Tätigkeiten mit verschiedenen Stressniveaus durchführen mussten. Für UC2 wurden Daten von 50 Probanden, die sowohl als Nutzer im automatisierten Fahren also auch als Beifahrer im manuellen Fahren Unsicherheit erleben, im Fahrsimulator durchgeführt. Darüber hinaus werden aktuell zwei Studien in den IAV-Fahrzeugen (siehe Abbildung 3) zu UC2 auf dem Testgelände (Shared-Space) und im Realverkehr (Ampelanfahrt in Kolonne) durchgeführt. Aus den Daten für UC1 wurde bereits ein Offlinemode entwickelt, das in der Lage ist aus Videoaufnahmen der Haltung (unter Nutzung von OpenPose [21], siehe Abbildung 4) die Aktivität der Nutzer (Manuell fahren, Entspannen oder Arbeiten) sowie aus Informationen über Herzrate und Herzratenvariabilität das Stressniveau der Nutzer beim Bearbeiten dieser Tätigkeiten zu erkennen [22].



**Abbildung 4. OpenPose-basierte Haltungserkennung aus Videodaten zur Bestimmung der Nutzeraktivität im Mobile Office.**

#### 5.4. Entwicklung des Kontextmodells

Mit Hilfe eines Routingservice, wie OpenStreetMap ([www.openstreetmap.de](http://www.openstreetmap.de)), werden relevante Parameter aus der aktuellen Verkehrssituation für eine abstrakte Kategorisierung des Kontextes im makroskopischen Kontextmodell extrahiert. Das Klassifikationsschema der Verkehrssituationen orientiert sich hierbei an [16]. Jeder Verkehrssituationskategorie ist ein Satz an notwendigen Parametern hinterlegt, die im mikroskopischen Kontextmodell gesammelt und gegebenenfalls vorverarbeitet werden. Zum Beispiel erfordert die Kategorie „L2“ (= einspurige Landstraße, [16]), unter anderem die THW zu vorausfahrenden und entgegenkommenden Fahrzeugen und aktuelle Geschwindigkeitslimits. Diese Parameter werden mithilfe der Fahrzeugsensorik (Geschwindigkeit, THWs, etc.), dem Routingservice (aktuelle Geschwindigkeitsbegrenzung) oder Car-2-Car-Kommunikation (THWs) erhoben. Das mikroskopische Kontextmodell übergibt die notwendigen Parameter anschließend in die ROS-Umgebung, damit das integrierte Situationsmodell hierauf zugreifen kann.

#### 5.5. Stand des Nutzerprofils

Das Nutzerprofil besteht aus Komponenten zur Datenspeicherung, Modellierung, User Interaktion und Schnittstellen zu anderen Systemkomponenten. Für jedes Szenario (s.o.) gibt es einen Satz von adaptiven Parametern, die das Systemverhalten (einschließlich Fahrstil, HMI und adaptivem Interieur) beschreiben. Während der Fahrt werden Daten aufgezeichnet und im Nutzerprofil hinterlegt. Sie enthalten den entsprechenden Parametersatz und Informationen über das aktuelle Szenario, Kontextparameter und den Nutzerzustand bzw. die -aktivität. Außerdem werden Eigenschaften, wie Fahrerfahrung und manuelle Anpassungen über das Interface hinterlegt. In der Modellierungskomponente werden aus

diesen Daten probabilistisch situationsbezogene Nutzerpräferenzen für die adaptiven Systemparameter abgeleitet und fortlaufend aktualisiert.

### **5.6. Implementierung des integrierten Situationsmodells**

Für das Zusammenbringen von Kontext- und Nutzermodelloutput im integrierten Situationsmodell werden aktuell unterschiedliche Ansätze entwickelt, die im Laufe des Projekts implementiert und evaluiert werden. Zurzeit werden hierfür die folgenden Verfahren als Grundlage für das integrierte Situationsmodell in Betracht gezogen:

- Naive Bayes Klassifikatoren
- Bayessche Netze
- tiefe neuronale Netze (engl. Deep neural network)

Eine Zielstellung des Projekts ist es die Stärken und Schwächen dieser Ansätze zur Abbildung des Nutzerzustands sowie möglicher Ursachen herauszuarbeiten und zu bewerten. Neben Spezifität und Sensitivität für Nutzerzustände sind hier auch die Echtzeitfähigkeit und die benötigte Menge an Trainingsdaten relevante Evaluationskriterien.

### **5.7. Adoptionsauswahl**

Die Adoptionsauswahlkomponente wird als Recommender System mit Konfliktlösemechanismus implementiert. Der Recommender wählt auf Basis des Nutzerzustands und der wahrscheinlichsten Ursache, Informationen über die Situation und individuellen Nutzerpräferenzen die beste aktuelle Anpassung aus. Auch die letzten vorherigen Anpassungen werden in die aktuelle Auswahl miteinbezogen, um die Auswahl von konträren aufeinanderfolgenden Anpassungen zu verringern. Um dieses „Kurzzeitgedächtnis“ umzusetzen, aber auch um die Erweiterbarkeit um neue Bedarfe, Situationen und Anpassungen zu gewährleisten, wird ein selbstlernendes Recurrent Neural Network (RNN) genutzt (vgl. [23]). Der Konfliktlösemechanismus wird in Form eines Zustandsautomaten umgesetzt, der sicherstellt, dass keine unzulässigen Anpassungen, wie plötzliche, sicherheitskritische Bremsmanöver, gewählt werden.

### **5.8. Design und Entwicklung von Anpassungsstrategien**

In den Demonstratoren werden drei Arten von Anpassungsstrategien möglich sein: Anpassungen des Fahrzeuginterieurs, des Fahrstils und des HMIs. Die Adaption des Fahrzeuginnenraums erfolgt über Beleuchtung, die an den Fahrerzustand und dessen Bedürfnisse dynamisch angepasst wird. Die manöverbasierte Anpassung des Fahrstils erfolgt über die Adaption dynamischer Parameter der Quer- und Längsführung des Fahrzeugs. Zur Realisierung dessen werden aktuell Parameterraumverfahren wie in [24] und [25] evaluiert.

Des Weiteren wird eine manöverbasierte Anpassung des Informationsgehalts der HMIs bezüglich der Fahrsituation und der Systemintention entwickelt. Festgestellten Nutzerbedarfen bezüglich der Unsicherheit etc. kann das System z.B. durch einen Moduswechsel zu einer detailreichereren Darstellung im HMI begegnen. Ein weiterer Aspekt ist der Detaillierungsgrad der Darstellung einer hohen Anzahl an Verkehrsteilnehmer, die nicht auf einen Blick erfasst werden können. Dies kann beispielsweise über ein Display in der Mittelkonsole und über ein installiertes 360°-Lichtband, das den Fahrzeugnutzer von allen Seiten umgibt (siehe Abbildung 5), erfolgen. Der 360°-Ansatz verwendet die periphere Sicht des Nutzers, um Nachrichten und Informationen, wie den Automationsmodus, erkannte Interaktionspartner oder die Fahrzeugtrajektorie, unauffällig zu übertragen. Der Nutzer kann so Informationen unabhängig von seiner Sitzposition wahrnehmen, ohne sich auf das Lichtband konzentrieren zu müssen. In mehreren Forschungsstudien zeigte dieses HMI-Konzept eine gute Nutzerakzeptanz und gute Ergebnisse bei der Kommunikation relevanter Informationen (z.B. [17]).

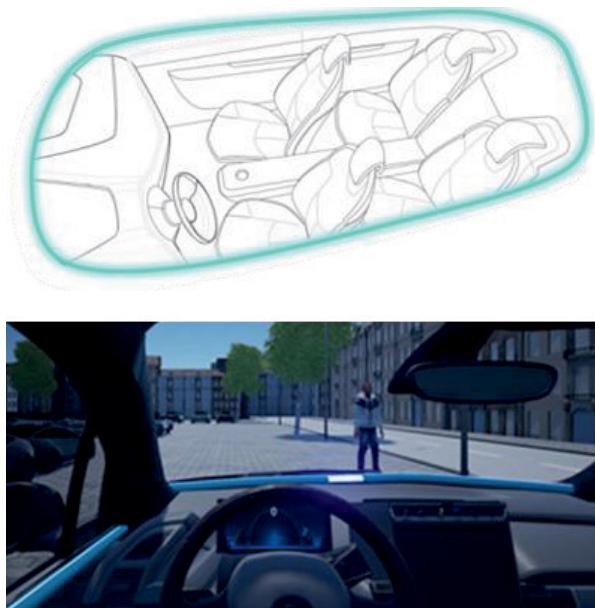


Abbildung 5: 360°-Lichtband im Fahrzeuginnenraum (oben), das einen erkannten Fußgänger als Interaktionspartner im Straßenverkehr anzeigt (unten).

## 6. Darstellung des Zusammenspiels der Komponenten anhand eines Szenarios

Die Entwicklungen in AutoAkzept zielen auf die die Detektion und Verringerung subjektiver Unsicherheiten zukünftiger Nutzer von AVF ab. Zielstellung ist die Berücksichtigung der zentralen Nutzerbedürfnisse *need to understand* und *need to be understood*, die essentiell für den Aufbau von Vertrauen sind, welches aus den Erfahrungen im Umgang mit AVF Systemen entstehen soll. Wie greifen die beschriebenen Komponenten nutzerfokussierter Automation in AutoAkzept zur Berücksichtigung dieser Bedürfnisse und zur Verringerung subjektiver Unsicherheiten von Nutzern ineinander? Zur Veranschaulichung wird beispielhaft ein prototypischer Ablauf von Szenario 2 betrachtet:

Ein Nutzer eines autonomen Fahrzeuges ist sich während der Fahrt unsicher darüber, ob das Fahrzeug in der Lage ist, bestimmte Verkehrssituationen sicher zu durchfahren. Das verbundene *need to understand* wird nicht ausreichend berücksichtigt. Die Unsicherheit des Nutzers äußert sich auf physiologischer und behavioraler Ebene z.B. in Maßen der Erregung, des Blickverhaltens oder der Körperhaltung. Die nutzerfokussierte Automation erhebt zugehörige Parameter über ihre Sensorik zur Nutzererfassung. Diese Daten werden mit makroskopischen (z.B. Lokationsinformationen, Straßentyp) und mikroskopischen (z.B. Fahrzeuggeschwindigkeit, Time-Headway) Kontextinformationen integriert und der aktuelle Nutzerzustand und potentielle Ursachen probabilistisch ermittelt. Die Automation identifiziert z.B. Nutzerunsicherheit und als wahrscheinliche Ursache, die geringen Abstände zu anderen Verkehrsteilnehmern wie Fußgängern und Radfahrern in einem Shared Space. Aus diesen, im Situationsmodell repräsentierten Informationen und unter Zuhilfenahme vorhandener Nutzerprofile wird der spezifische Bedarf zur Verbesserung des Fahrerzustandes abgeleitet. Dieser Bedarf, im konkreten Fall beispielsweise einen Erhöhung der Transparenz der Automation, wird an den Recommender übergeben. Der Recommender wählt unter Berücksichtigung der Kontextinformationen und des Nutzerprofils für diesen Bedarf eine Adoptionsstrategie aus, z.B. die Anzeige der erfassten Verkehrsteilnehmer. Diese Informationen helfen das *need to understand* des Nutzers anzusprechen. Zugleich bemerkt der Nutzer, dass diese Informationen zum Zeitpunkt seiner auftretenden subjektiven Unsicherheit präsentiert werden. Damit wird seinem *need to be understood* Rechnung getragen. Die Erhöhung der Transparenz verringert die Unsicherheit des Nutzers, ebenso wie das Erleben der adäquaten Reaktion des Systems auf die eigene Unsicherheit. Im Ergebnis kann der Nutzer Vertrauen und Akzeptanz für das System aufbauen.

## 7. Zusammenfassung und Fazit

Moderne hochauflösende und zuverlässige Sensorik bildet die Grundlage automatisierten Fahrens. Sie garantiert aber ebenso die diskrete Erfassung physiologischer, emotionaler und kognitiver Zustände von Fahrern oder Insassen. Durch die Fusionierung verschiedener sensorischer Datenströme gelingt nicht mehr nur die Erfassung einzelner Ereignisse, Objekte oder Parameter, sondern die interpretative Abbildung des systemischen Kontextes als ganze Szene. Der Mensch wird dabei jedoch nur verkürzt betrachtet, als zielorientiert handelnder Agent mit stabilen, situationsüberdauernden Merkmalen, dessen Handlungsziele und Absichten sich ohne individuelle Unterschiede vor allem aus einem normativen Rollenverständnis (z.B. der Fahrer als Überwacher) ergeben und herleiten lassen. Der Mensch muss jedoch als ein sich selbst änderndes System (z.B. Physiologie und circadianer Rhythmus, Handlungsmotive), vor allem aber durch situative Gegebenheiten und dadurch ausgelöste Kognitionen und Emotionen beeinflussbarer Agent mit sich wechselnden Zuständen und grundlegenden Bedürfnissen betrachtet werden. Diese Merkmale werden in der aktuellen Gestaltung der Interaktion von Mensch und Technik (Fahrzeug) nur unzureichend berücksichtigt. Dies gelingt erst, wenn systemische und kontextuelle Informationen mit dem aktuellen Zustand des Menschen integriert werden, da der Nutzerzustand erst innerhalb des systemischen und situativen Kontexts eindeutig bestimmbar wird. Nur mit dieser Eindeutigkeit können adäquate systemische Anpassungen abgeleitet werden. Die Berücksichtigung der in Echtzeit erfassten Fahrer- bzw. Nutzerzustände erlaubt hierbei eine objektive Auswahl der systemischen Anpassungen. Zugleich werden so die Voraussetzungen geschaffen um zwei grundlegenden Nutzerbedürfnissen Rechnung zu tragen, dem *need to understand* und dem *need to be understood*. Denn durch die Situations- und Zustandsabhängigkeit der jeweiligen Adaption ist sichergestellt, dass relevante Parameter optimal auf den Nutzerbedarf hin adjustiert werden, so dass die Anpassungen tatsächlich das *need to understand* des individuellen Nutzers, im richtigen Umfang und auf angemessene Weise adressieren. Indem die Anpassungen zeitgerecht und nutzerfokussiert erfolgen wird auch dem *need to be understood* des Nutzers Rechnung getragen. Er erlebt eine Ausrichtung des Systemverhaltens am eigenen Erleben und dessen Veränderungen.

Zielstellung für das Projekt AutoAkzept ist die Entwicklung nutzerfokussierter Automation, die sich an diesen zentralen Nutzerbedürfnissen orientiert. Mit ihrer Hilfe soll eine Verringerung oder Vorbeugung subjektiver Unsicherheiten von Nutzern automatisierter und vernetzter Fahrzeuge und damit die Gewährleistung hoher Akzeptanz erreicht werden. Dazu werden in AutoAkzept Methoden der Erfassung und Repräsentation von Nutzerzuständen und

Kontextinformationen, sowie der Ableitung von Nutzerbedarfen und Anpassungsstrategien entwickelt. Wesentlicher Baustein hierfür ist die Definition und Spezifikation einer Modellarchitektur nutzerfokussierter Automation zur Bedarfsableitung und Adoptionsauswahl, wie sie in dieser Arbeit vorgestellt wurde.

## 8. Danksagung

AutoAkzept wird durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Förderprogramm AVF, Förderkennzeichen 16AVF2126A, gefördert.



## 9. Literatur

- [1] R. Hoyer, T. Gasser, E. Schmidt, K. Bengler, U. Chiellino, F. Diederichs, R. Eckstein, F. Flemisch, E. Fraedrich, E. Fuchs, M. Gustke, M. Hüttinger, M. Jipp, F. Köster, M. Kühn, B. Lenz, C. Lotz-Keens, M. Maurer, M. Meurer und S. Meuresch, „Bericht zum Forschungsbedarf. Runder Tisch Automatisiertes Fahren - AG Forschung,“ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin, 2015.
- [2] S. Nordhoff, J. de Winter, M. Kyriakidis, B. van Arem und R. Happée, „Acceptance of driverless vehicles: Results from a large cross-national questionnaire study,“ *Journal of Advanced Transportation*, 2018.
- [3] O. Carsten und M. H. Martens, „How can humans understand their automated cars? HMI principles, problems and solutions,“ *Cognition, Technology & Work*, pp. 3-20, 2019.
- [4] L. Olivera, K. Proctor, C. G. Burns und S. Birell, „Driving Style: How Should an Automated Vehicle Behave?,“ *Information*, 2019.
- [5] P. A. Ruijten, J. M. B. Terken und S. N. Chandramouli, „Enhancing Trust in Autonomous Vehicles through Intelligent User Interfaces That Mimic Human Behavior,“ *Multimodal Technologies and Interaction*, pp. 1-16, 2018.
- [6] J. D. Lee und K. Kolodge, „Exploring Trust in Self-Driving Vehicles Through Text Analysis,“ *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2019.
- [7] F. Walker, W. B. Verwey und M. Martens, „Gaze Behaviour as a Measure of Trust in Automated Vehicles,“ in *Proceedings of the 6th Humanist Conference, The Hague, Netherlands, 13-14 June 2018*, The Hague, 2018.

- [8] M. Beggiato, F. Hartwich und J. Krems, „Using Smartbands, Pupilometry and Body Motion to Detect Discomfort in Automated Driving.,“ *Front. Hum. Neurosci.*, 2018.
- [9] M. Beggiato, F. Hartwich, K. Schleinitz, J. Krems, I. Othersen und I. Petermann-Stock, „What would drivers like to know during automated driving? Information needs at different levels of automation,“ *Paper presented at the 7th International Conference. Munich, Germany: Tagung Fahrerassistenz.*, 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.2462.6007.
- [10] A. Schieben, M. Wilbrink, C. Kettwich, R. Madigan, T. Louw und N. Merat, „Designing the interaction of automated vehicles with other traffic participants: design considerations based on human needs and expectations.,“ *Cognition, Technology & Work*, 2018.
- [11] J. Koo, J. Kwac, M. Steinert, L. Leifer und C. Nass, „Why did my car just do that? Explaining semi-autonomous driving actions to improve driver understanding, trust, and performance.,“ *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* , 2014.
- [12] D. Fabio, M. Broy, R. Brügger, U. Eichhorn, A. Grunwald, D. Heckmann, E. Hilgendorf, H. Kagermann, A. Losinger, M. Lutz-Bachmann, C. Lütge, A. Markl, K. Müller und K. Nehm, „Bericht der Ethik-Kommission für automatisiertes und vernetztes Fahren,“ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin, 2017.
- [13] A. H. Maslow, Motivation and personality., Ney York: Harper and Row, 1970.
- [14] J. Lun, S. Kesebir und S. Oishi, „On Feeling Understood and Feeling Well: The Role of Interdependence,“ *Journal of Research in Personality*, pp. 1623-1628., 2008.
- [15] S. Morelli, B. J. Torre und N. I. Eisenberger, „The neural bases of feeling understood and not understood.,“ *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, pp. 1890-1896, 2014.
- [16] W. Fastenmeier und H. Gstalter, „Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice,“ *Safety Science*, pp. 952-979, 2007.
- [17] M. Dziennus, J. Kelsch und A. Schieben, „Ambient Light - An integrative, LED based interaction concept for different levels of automation,“ in *VDI/VW-Gemeinschaftstagung, Fahrerassistenz und automatisiertes Fahren*, Düsseldorf, 2016.
- [18] F. Hartwich, T. Pech, D. Schubert, S. Scherer, A. Dettmann, M. F. Beggiato, T. Pech, D. Schubert, S. Scherer, A. Dettmann und M. Beggiato, „Fahrstilmodellierung im hochautomatisierten Fahren auf Basis der Fahrer-Fahrzeuginteraktion: Abschlussbericht "DriveMe",“ I-FAS, Interdisziplinäres Zentrum für Fahrerassistenzsysteme, Technische Universität Chemnitz, Chemnitz, 2016.
- [19] M. Fischer, A. Richter, J. Schindler, J. Plättner, G. Temme, J. Kelsch, D. Assmann und

- F. Köster, „Modular and scalable driving simulator hardware and software for the development of future driver assistance and automation systems,“ in *Proceedings of the New Developments in Driving Simulation Design and Experiments: Driving Simulation Conference*, Paris, 2014.
- [20] F. Schrödel und M. Freese, „Concept and Validation of a Guidance Approach for Highly Automated Shuttles,“ in *9th IFAC International Symposium on Advances in Automotive Control*, 2019.
- [21] Z. Cao, G. Hidalgo, T. Simon, S.-E. Wei und Y. Sheikh, „OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields,“ *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2019, DOI: 10.1109/TPAMI.2019.2929257.
- [22] F. Walocha, „Activity Recognition and Stress Detection for Manual and Automated Driving,“ Université Jean Monnet, Saint-Étienne, 2019.
- [23] S. Zhang, L. Yao, A. Sun und Y. Tay, „Deep Learning Based Recommender System: A Survey and New Perspectives,“ *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 2019.
- [24] K. Alaa, I. Mutlu, F. Schrödel, D. Mihailescu-Stoica und R. Voßwinkel, „A Combined Approach to Determine Robustly Stabilizing Parameter Spaces,“ in *27th Mediterranean Conference on Control and Automation*, 2019.
- [25] R. Voßwinkel, D. Mihailescu-Stoica, F. Schrödel und K. Röbenack, „Determining Passivity via Quantifier Elimination,“ in *27th Mediterranean Conference on Control and Automation*, 2019.



# Der Erstkontakt mit vollautomatisiertem Fahren

## Ergebnisse aus drei Studien im Wizard of Oz-Fahrzeug

M.Sc. **Leonie Gauer**, Dr. **Ingo Totzke**,  
Audi Electronics Venture GmbH, Gaimersheim;  
Prof. Dr. **Michale Zehetleitner**,  
Psychologie II, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt

### Kurzfassung

Die Rolle des Fahrers wandelt sich mit wachsender Fahrzeugautomation: Er wird vom aktiv beteiligten Akteur zum passiven Passagier, indem er seine Fahraufgabe gänzlich an ein vollautomatisiertes System übergibt. Durch den Wegfall der Fahraufgabe verliert der Passagier die Möglichkeit, in die Fahrzeugführung einzugreifen oder sie zu übernehmen, das führt zu Verunsicherung. Gleichzeitig ergeben sich neue Möglichkeiten der Zeitnutzung für den Passagier, wenn es ihm möglich ist, sich auf das System zu verlassen und die Fahraufgabe. Somit ist es gerade für den Erstkontakt mit vollautomatisiertem Fahren (SAE Level 4/5) wichtig, den Fahrer an seine neue Rolle als Passagier heranzuführen. Um eine gelungene Rollentransition zu ermöglichen, ist es notwendig, die Informationsgestaltung auf die Bedürfnisse des Passagiers abzustimmen. Um die Bedürfnisse des Passagiers während dieses Erstkontakte besser verstehen zu können und den Einfluss der Erfahrung mit einem automatisierten System untersuchen zu können, wurden drei Realfahrtstudien im Wizard of Oz-Setting auf einer Teststrecke durchgeführt.

Die Teilnehmer (insgesamt  $N = 78$ ) durchfuhren als Passagier eines Versuchsfahrzeugs auf einem abgesperrten Gelände in jeweils drei Fahrten (je Fahrt ca. 7 min) einen Parcours aus verschiedenen Fahrsituationen. Dabei wurde sowohl das Vertrauen in das automatisierte System als auch die wahrgenommener Unheimlichkeit des Teilnehmers erfasst. Es zeigte sich, dass die Probanden durch die Erfahrung mit dem System Vertrauen in das automatisierte System aufbauen. Parallel hierzu reduziert sich die Unheimlichkeit mit wachsender Erfahrung. Die Ergebnisse, die im Rahmen der Wizard of Oz-Experimente gewonnen wurden, sollen zur Entwicklung einer geeigneten Anzeige für den Erstkontakt mit vollautomatisiertem Fahren beitragen, um den Passagier während den ersten Fahrten zu unterstützen.

## 1. Einführung

Mit steigendem Automationsgrad verändert sich die Rolle des Fahrers vom aktiv involvierten Fahrer hin zum passiven Passagier. Beim manuellen Fahren übernimmt der Fahrer diverse Fahraufgaben, wie Navigation der Fahrtroute, Bahnführung und Stabilisation des Fahrzeugs [1] selbst. Im Rahmen der Teilautomation wird der Handlungsspielraum des Fahrers schrittweise reduziert, seine Aufgaben liegen dann eher in der Überwachung des System [2]. Beim vollautomatisierten Fahren (SAE Level 4+5) [3] übergibt der Fahrer seine aktive Fahraufgabe nun vollständig an das Fahrzeug und findet sich somit in der Rolle eines Passagiers wieder. Diese Rollentransition stellt besondere Herausforderungen an den Fahrer, denn auch wenn er von der Fahraufgabe vollständig entbunden wird, empfängt und verarbeitet er weiterhin Signale vom Fahrzeug und der Umgebung [4]. So nimmt er beispielsweise die Bremslichter eines vorausfahrenden Fahrzeugs in seinem Umfeld wahr und erwartet daraufhin ein Verzögerungsverhalten des Fahrzeugs. Besteht nun eine Diskrepanz zwischen den Erwartung des Passagiers und dem Systemverhalten, kann das System als unheimlich wahrgenommen werden [5]. Diese Unheimlichkeit kann sich reduzieren, wenn die tatsächlichen Fähigkeiten und die Funktionsweisen des Systems erkannt und verstanden werden [6]. Dies kann beispielsweise durch eine Erläuterung des Systems im Rahmen einer Instruktion passieren [7]. Wenn der Passagier nachvollziehen kann, wie sich das automatisierte System verhält und wie es funktioniert, kann er Vertrauen in das System aufbauen [8, 9]. Da Vertrauen einen wesentlicher Prädiktor für die Nutzung autonomer Fahrzeuge darstellt [10], sollte der Passagier gerade bei der ersten Nutzung des Systems durch eine geeignete Informationsgestaltung in diesem Vertrauensaufbau unterstützt werden. Dafür muss die Informationsgestaltung auf die Bedürfnisse des Passagiers abgestimmt werden.

Um die Bedürfnisse während des Erstkontaktees besser zu verstehen und den Einfluss der Erfahrung mit einem automatisierten System untersuchen zu können, wurden drei Realfahrtstudien im Wizard of Oz-Setting [11] auf einer Teststrecke durchgeführt. Diese drei aufeinander aufbauenden Studien sollen in der vorliegenden Arbeit vorgestellt werden.

## 2. Vollautomatisiertes Fahren bei 10 km/h (Studie 1)

### 2.1 Fragestellung

Im Rahmen dieser Studie wurde im Niedrig-Geschwindigkeitsbereich (bis 12 km/h) die Entwicklung des Vertrauens und der wahrgenommenen Unheimlichkeit während des Erstkontaktees mit vollautomatisiertem Fahren untersucht. Zusätzlich wurde betrachtet, ob das

Wissen über die Funktionsweise des automatisierten Fahrzeugs im Rahmen einer Instruktion einen Einfluss auf diese Entwicklung hätte.

## 2.2 Studiendesign

Im Rahmen dieser Studie wurde ein 2x3-Mischversuchsplan verwendet: Die Teilnehmer wurden in zwei Gruppen eingeteilt, die eine unterschiedliche Instruktionen zur Funktionsweise des Systems vor der Fahrt erhalten haben. Dabei wurde zwischen einer kurzen Instruktion, die lediglich erklärte, dass das Fahrzeug selbstständig fahren könne und einer längere Instruktion, die die Funktionsweise des Systems genauer erläutert, unterschieden. In der untenstehenden Tabelle 1 sind die Instruktionen aufgeführt. Jeder Teilnehmer durchfuhr im Rahmen des Messwiederholungsfaktors „Messzeitpunkt“ drei vergleichbare Parcours-Fahrten.

Tabelle 1: Instruktionsumfang

Kurze Instruktion	Hier sehen Sie unser Prototypenfahrzeug. Dieses Fahrzeug hat eine ganz besondere Funktion. Es kann selbstständig fahren. Wir haben hier zwar noch Personen zur Absicherung, da das System natürlich noch keinen Serienstand hat und es daher Vorschrift zur Absicherung ist, eine Person mit einem Nothalte-Schalter auszustatten.
Lange Instruktion	Hier sehen Sie unser Prototypenfahrzeug. Dieses Fahrzeug hat eine ganz besondere Funktion. Es kann selbstständig fahren. Wir haben hier zwar noch Personen zur Absicherung, da das System natürlich noch keinen Serienstand hat und es daher Vorschrift zur Absicherung ist, eine Person mit einem Nothalte-Schalter auszustatten.  Dennoch kann dieses Fahrzeug alle Situationen in diesem Parcours selbstständig handeln. Durch Kameras, Laser und Radarsensoren erkennt es Gegenstände im Umfeld und kann dann auf diese Hindernisse reagieren. Das bedeutet, es bremst, wenn sich etwas im Fahrweg befindet, detektiert andere Fahrzeuge und schätzt deren Fahrschlauch ab. Das Fahrzeug kennt sein Ziel und plant dementsprechend eine optimale Route.

## 2.3 Versuchsaufbau

Die Versuchsfahrten fanden auf dem Testgelände der AUDI AG in Neuburg an der Donau statt und dauerten jeweils ca. 120 Minuten pro Versuchsteilnehmer. Nach der Begrüßung folgte eine ca. fünfminütige Einführung in das Versuchsprozedere und das Ausfüllen der Fragebögen zur Soziodemographie, initialem Vertrauen in vollautomatisiertes Fahren [12] und Technikaffinität [13] sowie dem Einverständnis der Datenerhebung und -Weiterverarbeitung. Daraufhin wurden die Teilnehmer zum Versuchsfahrzeug gebracht. Dort wurde die jeweilige Instruktion vorgelegt und vom Versuchsleiter vorgelesen. Nachdem die Teilnehmer sich

angeschnallt hatten starteten die fünf bis sieben Minuten dauernden Versuchsfahrten. Jeder Teilnehmer durchfuhr in randomisierter Reihenfolge drei Mal einen Parcours aus verschiedenen stadtähnlichen Fahrszenarien, die im Vorhinein validiert wurden [14].

Nach jeder Fahrt wurden die Teilnehmer gebeten, eine Fragebogenbatterie zu beantworten, die u.a. Fragen zum Vertrauen in automatisierte Systeme [15] und Fragen zur wahrgenommenen Unheimlichkeit [16] beinhaltete. Nach dem Ende der dritten Fahrt wurden die Teilnehmer zur weiteren Befragung in die Räumlichkeiten des Audi Testgeländes begleitet. Dort erfolgten ein teilstandardisiertes Interview zur Nachbefragung und die Aufklärung des Wizard of Oz Settings. Mit der Verabschiedung erhielten die Teilnehmer eine Aufwandsentschädigung und wurden verabschiedet.

Das Versuchsfahrzeug war ein Audi A8L, der eine zuvor eingeplante Strecke mit max. 12 km/h selbsttätig abfahren konnte, ohne dass ein Fahrer das Fahrzeug steuern musste. Die Strecke des Fahrzeugs konnte so eingeplant werden, dass es selbsttätig eine spezielle Trajektorie abfahren konnte und an festgelegten Situationen zum Stehen kommen konnte. So konnte der Teilnehmer auf dem Beifahrersitz Platz nehmen, der Fahrersitz konnte unbesetzt bleiben. Der Versuchsleiter nahm auf dem Rücksitz Platz. Um dem Teilnehmer keine versteckten Informationen zu vermitteln, wurden alle Displays abgedeckt oder ausgestellt. Jegliche Spiegel wurden so verstellt, dass der Teilnehmer sie nicht oder nur geringfügig nutzen konnte.

## 2.4 Stichprobe

An der Studie nahmen  $N = 31$  Personen teil:  $n = 17$  männliche Teilnehmer (54.8 %) und  $n = 14$  weibliche Teilnehmer (45.2 %). Das mittlere Alter betrug 34.10 Jahre ( $SD = 9.10$  Jahre). Die Teilnehmer besaßen ihren Führerschein im Mittel seit 17.06 Jahren ( $SD = 9.20$  Jahre). Die Teilnehmer stuften sich im Mittel technisch affin ein ( $M = 3.71$ ,  $SD = 0.51$ ; Skala 1-5: 1 = „trifft voll und ganz zu“ bis 5= „trifft überhaupt nicht zu“) und zeigten mittleres initiales Vertrauen in das automatisierte System ( $M = 5.28$ ,  $SD = 0.94$ ; Skala 1-7: “ (1= „trifft überhaupt nicht zu“ bis 7 = „trifft voll und ganz zu“).

## 2.5 Ergebnisse Studie 1

Veränderungen über die Zeit

Die Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung zeigen, dass das Vertrauen über drei Messzeitpunkte deutlich ansteigt ( $F(2, 56) = 7.207$ ,  $p = .002$ ,  $\eta^2 = .205$ ). Dabei zeigen die Post-hoc Einzelvergleiche, dass sich das Vertrauen zum ersten Messzeitpunkt deutlich von den beiden anderen Messzeitpunkten unterscheidet ( $M_1 = 5.06$ ,  $SD = 0.90$  zu  $M_2 = 5.13$ ,  $SD = 0.96$ ,  $p = .010$ ;  $M_1 = 5.06$  zu  $M_3 = 5.42$ ,  $SD = 0.92$ ,  $p = .010$ ) (s.

Bild 1). Parallel dazu reduziert sich die wahrgenommene Unheimlichkeit deutlich über drei Messzeitpunkte ( $F(2, 56) = 5.295, p = .008, \eta^2 = .159$ ). Die Bonferroni-korrigierten Post-hoc Tests zeigen einen signifikanten Unterschied von Messzeitpunkt 1 zu 3 ( $M_1 = 3.517 SD = 0.77, M_3 = 3.189, SD = 0.70, p = .031$ ).

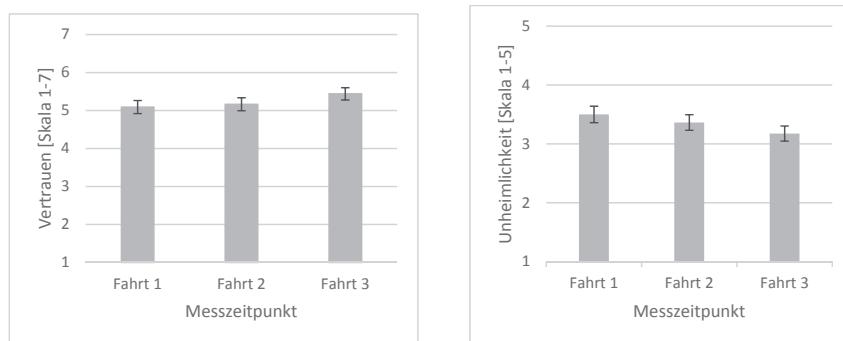


Bild 1: Mittelwerte des Vertrauens und der wahrgenommenen Unheimlichkeit für den Haupteffekt Messzeitpunkt ( $N = 31$ ). Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler.

#### Einfluss der Instruktionslänge

Im Vergleich der beiden Instruktionsgruppen zeigt sich, dass die Gruppe mit höherem Funktionswissen das Fahren als vertrauenserweckender und weniger unheimlich bewertet, als die Gruppe mit geringerem Funktionswissen. Der Haupteffekt für die Instruktion zeigt, dass sich das Vertrauen in der Gruppe mit ausführlicher Instruktion signifikant von der Gruppe mit kurzer Instruktion unterscheidet ( $F(1, 28) = 6.481, p = .017, \eta^2 = .188$ ).

Auch in der wahrgenommene Unheimlichkeit unterscheiden sich die Instruktionsgruppen voneinander ( $F(1, 28) = 5.001, p = .033, \eta^2 = .152$ ), wie in Bild 2 deutlich wird. Durch eine ausführlichere Instruktion mit Informationen zur Funktionsweise wird die Fahrt als weniger unheimlich wahrgenommen, als mit kurzer Instruktion.

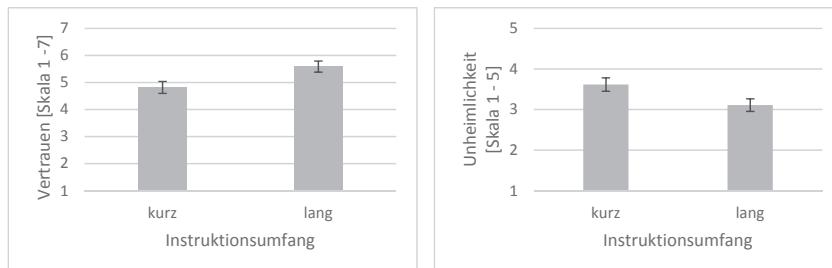


Bild 2: Mittelwerte des Vertrauens und der wahrgenommenen Unheimlichkeit für den Haupteffekt Instruktionsumfang ( $N = 31$ ). Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler des Mittelwerts.

### 3. Vollautomatisiertes Fahren bei ca. 50 km/h (Studie 2)

#### 3.1 Fragestellung

Im Rahmen dieser Studie sollte überprüft werden, ob die Ergebnisse, die im Niedergeschwindigkeitsbereich gewonnen wurden, auch in einem höheren Geschwindigkeitsbereich bestätigt werden können.

#### 3.2 Studiendesign

Um zu klären, ob die Ergebnisse bei höheren Geschwindigkeiten stabil bleiben, wurde das Design der vorherigen Studie nun in einem höheren Geschwindigkeitsbereich repliziert. Der dreistufige Messwiederholungsfaktor ( $t_1, t_2, t_3$ ) wurde beibehalten, ebenso wie der Zwischensubjektfaktor „Instruktionsumfang“ (kurze vs. lange Instruktion).

Um höhere Geschwindigkeiten erreichen zu können, musste ein anderer Versuchsträger verwendet werden, in dem ein Fahrer das Fahrzeug als so genannter Wizard vom Beifahrersitz aus steuerte. Um die Illusion des selbstfahrenden Fahrzeugs aufrecht zu erhalten, wurde der Wizard als Sicherheitsfahrer vorgestellt. Allerdings äußerten die ersten Teilnehmer, dass sie sich durch die Präsenz des Sicherheitsfahrers sicherer fühlten [17], „weil ja jemand dabei ist, der zur Not eingreifen könnte“ (TN02). Daher wurde nachträglich ein zusätzlicher Faktor „Coverstory“ eingeführt und variiert: der Wizard wurde nun entweder als Sicherheitsfahrer, oder als neuer unbedarfter Praktikant vorgestellt. Es handelte sich somit um einen  $2 \times 2 \times 3$ -Mischversuchsplan.

### 3.3 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau und Ablauf sowie die vorliegenden Manöver waren vergleichbar mit denen, der vorhergehenden Studie.

Als Versuchsfahrzeug wurde diesmal ein umgebauter Q7 verwendet, der durch die Firma Schaeffler- PARAVAN® als drive-by-wire-Fahrzeug aufgerüstet wurde. So konnte der Wizard das Fahrzeug mittels 4-Wege-Joystick in der Mittelkonsole vom Beifahrersitz aus steuern. Der Teilnehmer saß in diesem Versuchsaufbau auf dem Fahrersitz. Um den Joystick zu verdecken und den Teilnehmern die Illusion des selbstfahrenden Fahrzeugs zu ermöglichen, wurde eine Abdeckung in der Mittelkonsole verbaut und den Teilnehmern erklärt, der Aufbau verdecke die Mess- und Steuerungstechnik. Auch hier wurden den Teilnehmern keine Displays präsentiert und die Spiegel so verstellt, dass sie kaum nutzbar waren.

### 3.4 Stichprobe

An dieser Studie nahmen  $N = 32$  Personen teil:  $n = 15$  männliche Teilnehmer (46.9 %) und  $n = 17$  weibliche Teilnehmer (53.1 %). Das mittlere Alter betrug 39.16 Jahre ( $SD = 14.00$  Jahre). Die Teilnehmer besaßen ihren Führerschein im Mittel seit 21.65 Jahren ( $SD = 13.00$  Jahre). Die Teilnehmer stuften sich im Mittel technisch affin ein ( $M = 3.43$ ,  $SD = 0.36$ ; Skala 1-5) und zeigten mittleres initiales Vertrauen ( $M = 5.39$ ,  $SD = 0.74$ ; Skala 1-7).

### 3.5 Ergebnisse Studie 2

Veränderungen über die Zeit

Es wurde eine ANOVA mit Messwiederholung für die drei Messzeitpunkte berechnet, dabei zeigt sich, dass das Vertrauen über drei Messzeitpunkte nur marginal ansteigt ( $F(2, 54) = 2.852$ ,  $p = .066$ ,  $\eta^2 = .096$ ).

Die wahrgenommene Unheimlichkeit reduziert sich jedoch deutlich ( $F(2, 54) = 5.568$ ,  $p = .006$ ,  $\eta^2 = .171$ ). Die Betrachtung der Bonferroni-korrigierten Post-hoc Einzelvergleiche zeigt, dass sich die wahrgenommene Unheimlichkeit vom ersten zum dritten Messzeitpunkt deutlich reduziert ( $M_1 = 3.52$ ,  $SD = 0.70$ ,  $M_3 = 3.20$ ,  $SD = 0.55$ ,  $p = .014$ ).

Einfluss der Instruktionslänge

In der Betrachtung der Unterschiede zwischen kurzer und langer Instruktion zeigen sich keine Unterschiede zwischen kurzer und langer Instruktion (Vertrauen:  $F(1, 27) = 1.691$ ,  $p = .204$ ,  $\eta^2 = .059$ ; wahrgenommene Unheimlichkeit:  $F(1, 27) = 0.284$ ,  $p = .599$ ,  $\eta^2 = .010$ ).

Da in Studie 1 deutliche Unterschiede hinsichtlich des Instruktionsumfangs zu erkennen waren, wurde ein Item des Vertrauensfragebogens herausgegriffen, das das wahrgenommene

Funktionswissen repräsentiert: „Ich weiß, wie das System funktioniert“ (1 = „trifft überhaupt nicht zu“ bis 7 = „trifft voll und ganz zu“). Im Varianzvergleich zwischen den Instruktions-Gruppen zeigt sich, dass die Gruppe der Teilnehmer mit ausführlicheren Instruktionen angibt ebenso gut über das System informiert zu sein, wie die Teilnehmer mit kurzer Instruktion ( $F(1, 30) = 0.015, p = .902, \eta^2 = .001$ ).

### Einfluss der Coverstory

Im Vergleich der Coverstory-Gruppen konnten keine Unterschiede zwischen den Coverstories aufgedeckt werden. Die Teilnehmer, die glaubten, mit einem Praktikanten gefahren zu sein, vertrauten dem automatisierten Fahrzeug ebenso, wie die Teilnehmer, die mit einem Sicherheitsfahrer fuhren ( $F(1, 27) = 0.033, p = .858, \eta^2 = .001$ ). Die Fahrten wurden mit einem Sicherheitsfahrer auch nicht als weniger unheimlich wahrgenommen, als mit einem Praktikanten als Beifahrer ( $F(1, 27) = 0.033, p = .153, \eta^2 = .006$ ). Betrachtet man jedoch das Item „Ich habe mich während der Fahrt sicher gefühlt“ (1 = „trifft voll und ganz zu“ bis 5 = „trifft überhaupt nicht zu“) aus der Diskomfort-Skala [18], und vergleicht die Mittelwerte der beiden Gruppen, zeigt sich eine marginal signifikante Wechselwirkung zwischen Coverstory und Messzeitpunkt ( $F(2, 48) = 3.021, p = .058, \eta^2 = .112$ ). In der Betrachtung der Post-hoc Einzelvergleiche zeigt sich, dass sich zum ersten Messzeitpunkt die Gruppe mit dem Praktikanten als Wizard  $M_{1; \text{Praktikant}} = 4.60, SD = 0.55$  sicherer gefühlt hat, als die Gruppe mit Sicherheitsfahrer ( $M_{1; \text{Sicherheitsfahrer}} = 4.14, SD = 0.98$ ) (s. Bild 3). Dies widerspricht den Erfahrungen der ersten Fahrten.

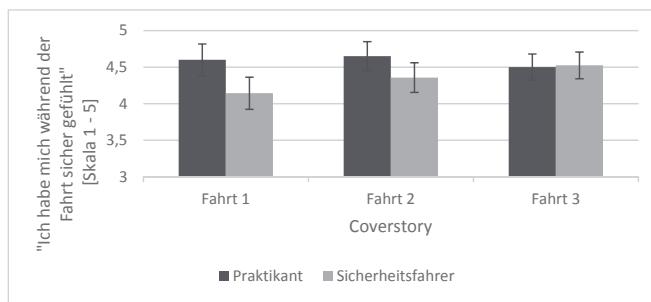


Bild 3: Mittelwert des Items "Ich habe mich während der Fahrt sicher gefühlt" für den Faktor "Coverstory". Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler des Mittelwertes.

### 3.6 Ergebnisse Studie 1 und 2 – Vergleich der Studien

Betrachtet man beide Studien (Studie 1 und 2) zusammengenommen, zeigt sich, dass die Geschwindigkeit keinen Einfluss auf das Vertrauens- und Unheimlichkeitserleben während des Erstkontakte hat. Weder das Vertrauen ( $F(1, 57) = .794, p = .377, \eta^2 = .014$ ), noch die wahrgenommenen Unheimlichkeit ( $F(1, 57) = .005, p = .943, \eta^2 = .000$ ) unterscheiden sich zwischen den Studien.

## 4. Vollautomatisiertes Fahren als Novize oder Experten (Studie 3)

### 4.1 Fragestellung

In dieser Studie sollte nun der Unterschied im Erleben der vollautomatisierten Fahrt zwischen Novizen und automationserfahrenen Teilnehmern betrachtet werden. Hierzu wurden Teilnehmer, die an der vorherigen Studie (Studie 2) bereits teilgenommen hatten nun als Experten erneut eingeladen. Zwischen den Studien lagen sieben Monate.

Da in den vorherigen Studien unterschiedliche Versuchsfahrzeuge verwendet wurden, die unterschiedliche Sitzpositionen der Teilnehmer voraussetzten (Teilnehmer besetzten in Studie 1 den Beifahrersitz, in Studie 2 den Fahrersitz) wurde die Sitzposition in dieser Studie systematisch variiert, um einen möglichen Einfluss der Sitzposition zu überprüfen.

### 4.2 Studiendesign

Der dreistufige Messwiederholungsfaktor ( $t_1, t_2, t_3$ ) wurde weiter beibehalten. Die Zwischensubjektfaktoren waren Sitzbelegung (Fahrer vs. Beifahrersitz) und die Fahrerfahrung (Novizen vs. Experten). Es handelt sich somit um einen  $2 \times 2 \times 3$ -Mischversuchsplan.

### 4.3 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau, der Ablauf und die vorliegenden Manöver waren vergleichbar mit denen aus den vorhergehenden Studien.

Als Versuchsfahrzeug wurde erneut der Q7-Versuchsträger verwendet. In dieser Studie wurde die Steuerung allerdings vom Rücksitz mit zwei Zwei-Wege-Joysticks ermöglicht, um eine bessere Fahrperformance zu erzielen und die systematische Variation der Sitzbelegung zu ermöglichen. Wie in den Studien zuvor wurden auch hier keine Displays präsentiert und die Spiegel so verstellt, dass sie kaum nutzbar waren. Nach den Versuchen wurden die Probanden über das Wizard of Oz-Setting aufgeklärt.

#### 4.4 Stichprobe

An der Studie nahmen  $N = 33$  Personen teil:  $n = 15$  (45.5 %) Novizen,  $n = 18$  (54.5 %) Experten. Es nahmen  $n = 22$  männliche (66.7 %) und  $n = 11$  weibliche Teilnehmer (33.3 %) teil. Das mittlere Alter betrug 38.12 Jahre ( $SD = 15.16$  Jahre). Die Teilnehmer besaßen ihren Führerschein im Mittel seit 20.59 Jahren ( $SD = 14.11$  Jahre). Die Teilnehmer stuften sich im mittel technisch affin ein ( $M = 3.44$ ,  $SD = 0.60$ ; Skala 1-5) und zeigten mittleres initiales Vertrauen ( $M = 5.42$ ,  $SD = 0.94$ , Skala 1-7).

#### 4.5 Ergebnisse Studie 3

##### Veränderungen über die Zeit

Es werden erneut zunächst die Veränderungen über die Zeit, als Haupteffekte der ANOVA mit Messwiederholung betrachtet: Da der Mauchly-Test zur Überprüfung der Sphärität für den Haupteffekt Messzeitpunkt für das Vertrauen signifikant ist ( $\chi^2[2] = 6.286$ ,  $p < .05$ ), werden die Freiheitsgrade entsprechend nach Greenhouse-Geisser korrigiert. Für die Variable „Wahrgenommene Unheimlichkeit“ kann die Sphärität angenommen werden ( $\chi^2[2] = 1.306$ ,  $p > .05$ ).

Es zeigt sich, dass das Vertrauen mit wachsender Erfahrung über die drei Messzeitpunkte ansteigt ( $F(1.65, 46.7) = 4.010$ ,  $p = .032$ ,  $\eta^2 = .125$ ). Die Bonferroni-korrigierten Post-Hoc Tests zeigen jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten. Die wahrgenommene Unheimlichkeit reduziert sich marginal ( $F(2, 56) = 2.792$ ,  $p = .070$ ,  $\eta^2 = .91$ ).

##### Einfluss der Sitzbelegung

Betrachtet man die Sitzbelegung zeigt sich, dass sich die Gruppen hinsichtlich ihres Vertrauens unterscheiden ( $F(1, 28) = 5.480$ ,  $p = .027$ ,  $\eta^2 = .164$ ). Teilnehmer auf dem Fahrersitz vertrauen dem System demnach weniger, als die Teilnehmer auf dem Beifahrersitz ( $M_{Fahrersitz} = 4.86$ ,  $SD = 0.41$ ,  $M_{Beifahrersitz} = 5.37$ ,  $SD = 0.68$ ). Bezüglich der wahrgenommenen Unheimlichkeit zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen ( $F(1, 28) = 1.770$ ,  $p = .194$ ,  $\eta^2 = .059$ ) ( $M_{Fahrersitz} = 3.38$ ,  $SD = 0.57$ ;  $M_{Beifahrersitz} = 3.13$ ,  $SD = 0.53$ ).

##### Einfluss der Erfahrung

Für den Faktor Erfahrung zeigen sich sowohl für das Vertrauen ( $F(1, 28) = 4.598$ ,  $p = .041$ ,  $\eta^2 = .141$ ), als auch für die wahrgenommene Unheimlichkeit ( $F(1, 28) = 5.615$ ,  $p = .025$ ,  $\eta^2 = .167$ ) signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (s. Bild 4). Die Gruppe der Novizen ( $M_{Novizen} = 4.86$ ,  $SD = 0.64$ ) vertraut dem System weniger, als die Gruppe der erfahrenen

Fahrer ( $M_{Experten} = 5.34$ ,  $SD = 0.55$ ). Gleichzeitig empfinden Teilnehmer, die bereits das automatisierte Fahren erlebt haben das Fahren als weniger unheimlich ( $M_{Experten} = 3.06$ ,  $SD = 0.49$ ), als Teilnehmer, die noch nie automatisiert gefahren sind ( $M_{Novizen} = 3.50$ ,  $SD = 0.54$ ).

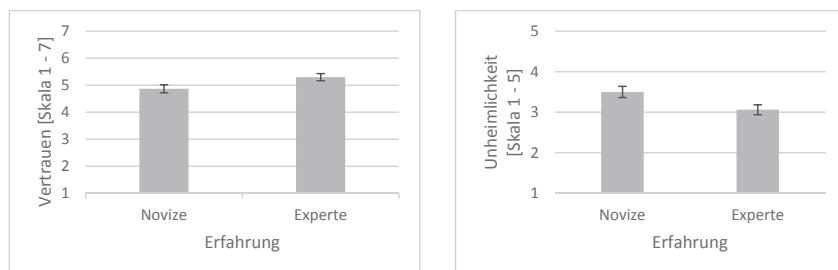


Bild 4: Mittelwerte von Vertrauen und wahrgenommener Unheimlichkeit ( $N = 33$ ) für den Haupteffekt Erfahrung. Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler des Mittelwerts.

#### 4.6 Ergebnisse Studie 1, 2 und 3 – Vergleich von Extremgruppen

Um interindividuelle Faktoren für das Erleben der vollautomatisierten Fahrten identifizieren zu können wurden aus der gesamten Stichprobe Extremgruppen gebildet. So wurden die 10% der Teilnehmer mit dem niedrigsten und höchsten initialen Vertrauen in vollautomatisiertes Fahren identifiziert und verglichen. Auf die gleiche Weise wurden zwei Extremgruppen für technische Affinität identifiziert (sehr affine Teilnehmer und technisch wenig affine Teilnehmer). Diese Extremgruppen wurden in ihrer Vertrauensentwicklung und Unheimlichkeitsreduktion betrachtet. Die Ergebnisse sind in Bild 5 dargestellt.

Es zeigt sich, dass Teilnehmer mit niedrigem initialem Vertrauen dem vollautomatisierten System deutlich weniger vertrauen, als Probanden mit hohem Vertrauen vor der ersten Fahrt ( $F(1,15) = 16.445$ ,  $p = .001$ ,  $\eta^2 = .523$ ). Ebenfalls vertrauen Teilnehmer, die sich als technikfern einschätzen dem System weniger, als technikaffine Teilnehmer ( $F(1,12) = 5.482$ ,  $p = .032$ ,  $\eta^2 = .327$ ).

Auch in der wahrgenommenen Unheimlichkeit unterscheiden sich die Extremgruppen deutlich voneinander. Teilnehmer die vor den Fahrten sehr wenig Vertrauen in vollautomatisierte Fahrzeuge hatten, nahmen die Fahrten deutlich unheimlicher wahr, als Teilnehmer die im Vorfeld höheres Vertrauen angegeben haben ( $F(1,15) = 34.056$ ,  $p = .000$ ,  $\eta^2 = .964$ ).

Technikferne Teilnehmer bewerten das Fahren als marginal unheimlicher, als die technikaffinenen Teilnehmer ( $F(1,12) = 2.227, p = .051, \eta^2 = .282$ ).

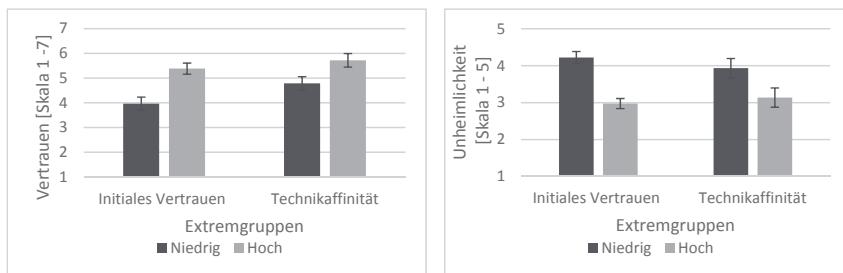


Bild 5: Mittelwerte des Vertrauens und wahrgenommener Unheimlichkeit für den Haupteffekt Extremgruppe Initiales Vertrauen ( $n = 17$ ) und Technikaffinität ( $n = 14$ ). Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler des Mittelwerts.

## 5. Diskussion

Im Rahmen der drei Wizard of Oz Studien konnte gezeigt werden, dass mit wiederholter Nutzung eines vollautomatisierten Systems das Vertrauen in vollautomatisierte Fahrzeuge steigt und sich gleichzeitig die wahrgenommene Unheimlichkeit deutlich reduziert. Diese Ergebnisse konnten über die drei Studien mit variierenden Fragestellungen und methodischen Herangehensweisen hinweg relativ stabil bestätigt werden und zeigen damit, dass Vertrauen und wahrgenommene Unheimlichkeit geeignete Indikatoren für die Systemnutzung darstellen [10]. Diese Erkenntnisse sprechen dafür, dass im Hinblick auf neue Informationskonzepte für den Erstkontakt insbesondere vertrauensbildende Maßnahmen getroffen werden sollten sowie Systemtransparenz hergestellt werden sollte, um wahrgenommene Unheimlichkeit zu vermeiden.

Ziel der vorgestellten Studie war es, neben Zeiteffekten auch Faktoren zu identifizieren, die das Vertrauens- und Unheimlichkeitserleben beeinflussen können, um Bedarfe für die Informationsgestaltung für den Erstkontakt mit vollautomatisiertem Fahren ableiten zu können. So konnte in Studie 1 gezeigt werden, dass auch das Wissen über die Funktionsweise des Systems wichtig für die Vertrauensausprägung und die Reduktion des Unheimlichkeitserlebens ist [6, 8]. Da sich der Einfluss der Instruktion in Studie 2 nicht replizieren ließ und die Ergebnisse der Einzel-Itemanalyse zeigen, dass diese einfache Text-Instruktion (vergleichbar mit der Kurzeinführung in einem Handbuch) nicht in allen Fällen genügend, um dem Nutzer ausreichendes Funktionswissen zu vermitteln, wird hier deutlich,

wie wichtig es ist den Passagier bei seinem Erstkontakt mit vollautomatisiertem Fahren durch geeignete Informationsdarstellung zu unterstützen. In Studie 3 wurde deutlich, dass die eigene Erfahrung mit dem vollautomatisierten System dazu beiträgt das Fahren als weniger unheimlich und vertrauenserweckender zu bewerten. Novizen nahmen eine Fahrt als deutlich unheimlicher wahr und vertrauten dem Fahrzeug weniger, als Experten. Dieser Befund bestätigt, dass es wichtig ist, den Erstkontakt mit vollautomatisiertem Fahren zu fokussieren, um eine wiederholte Nutzung und damit weiteren Vertrauensaufbau zu fördern [10].

Dass aber bereits vor der ersten Fahrt ein Erstkontakt mit vollautomatisiertem Fahren stattfindet, in dem sich Erwartungen an ein System und ein initiales Vertrauen oder auch Misstrauen entwickelt, der einen Unterschied im Erleben einer ersten Fahrt hervorrufen kann, konnten die Ergebnisse der Extremgruppenanalyse zeigen. Diese konnten ebenfalls zeigen, dass sich Nutzergruppen, die sich beispielsweise in ihrer Technikaffinität unterscheiden, eine vollautomatisierte Fahrt auch als unterschiedlich vertrauenserweckend oder unheimlich erleben. Das deutet darauf hin, dass ein Informationskonzept nicht nur an den Erfahrungsstand eines Passagiers, sondern auch unterschiedliche Nutzergruppen mit unterschiedlichen Eigenschaften, wie Technikaffinität oder Sicherheitsbewusstsein berücksichtigen sollte [19].

Neben den inhaltlichen Erkenntnissen, konnten auch Erfahrungen mit unterschiedlichen Wizard of Oz-Settings gesammelt werden. Da sich die Ergebnisse weder im Hinblick auf die Fahrgeschwindigkeit noch dem Fahrzeug- oder Versuchsaufbau deutlich voneinander unterschieden, lässt sich schlussfolgern, dass Wizard of Oz-Settings eine gute Möglichkeit bieten, vollautomatisiertes Fahren zu vermitteln [20]. Allerdings sollte auf eine angemessene Coverstory geachtet werden und der Einfluss eines menschlichen Fahrers/Wizards mit einbezogen werden, um keine ungewollten Versuchsleitereffekte hervorzurufen. Auch die Sitzbelegung sollte mitbeachtet werden, da Teilnehmer die eine Fahrt auf dem Beifahrersitz ohne Belegung des Fahrersitzes absolvierten, dem Fahrzeug stärker vertrauen, als Teilnehmer auf dem Fahrersitz.

Limitierend muss angemerkt werden, dass die Studien auf einem abgesperrten Testgelände mit kontrollierten Fahrsituationen und limitierten Verkehrsteilnehmern durchgeführt wurden, die Ergebnisse sind somit nicht direkt auf eine tatsächliche Fahrt im Realverkehr übertragbar. Dennoch konnten Faktoren identifiziert werden, die beim Erstkontakt mit vollautomatisiertem Fahren beachtet werden sollten um den Passagier in seine Rolle einzuführen und das bestmöglich Erleben ohne „Gruselfaktor“ zu ermöglichen.

## Literaturangaben

- [1] Donges, E.: Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. Automobil-Industrie 2 (1982), S. 183–190
- [2] Othersen, I.: Vom Fahrer zum Denker und Teilzeitlenker. AutoUni – Schriftenreihe, Bd. 90. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2016
- [3] J3016 (TM) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, SAE, 2016
- [4] Banks, V. A. u. Stanton, N. A.: Analysis of driver roles: Modelling the changing role of the driver in automated driving systems using EAST. Theoretical Issues in Ergonomics Science 20 (2017) 3, S. 284–300
- [5] MacDorman, K. F.: Subjective ratings of robot video clips for human likeness, familiarity, and eeriness: An exploration of the uncanny valley. ICCS/CogSci-2006 long symposium: Towards social mechanisms of android science. 2006
- [6] Ruijten, P., Terken, J. u. Chandramouli, S.: Enhancing trust in autonomous vehicles through intelligent user interfaces that mimic human behavior. Multimodal Technologies and Interaction 2 (2018) 4, S. 62
- [7] Simon, J.: Learning to drive with Advanced Driver Assistance Systems. Empirical studies of an online tutor and a personalised warning display on the effects of learnability and the acquisition of skill., Technische Hochschule Chemnitz Dissertation. Chemnitz 2005
- [8] Lee, J. u. Moray, N.: Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. Ergonomics 35 (1992) 10, S. 1243–1270
- [9] John D. Lee u. Katrina A. See: Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance. Human Factors: The Journal of Human Factors and Ergonomics Society 46 (2004) 1, 50–80.
- [10] Choi, J. K. u. Ji, Y. G.: Investigating the Importance of Trust on Adopting an Autonomous Vehicle. International Journal of Human–Computer Interaction 31 (2015) 10, S. 692–702
- [11] Kelley, J. F.: An empirical methodology for writing user-friendly natural language computer applications. Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '83. New York, New York, USA: ACM Press 1983, S. 193–196
- [12] Li, X., Hess, T. J. u. Valacich, J. S.: Why do we trust new technology? A study of initial trust formation with organizational information systems. The Journal of Strategic Information Systems 17 (2008) 1, S. 39–71
- [13] Karrer, K., Glaser, C., Clemens, C. u. Bruder, C.: Technikaffinität erfassen - der Fragebogen TA-EG. Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. Düsseldorf: VDI 2009, S. 196–201

- [14] Gauer, L., Müller, J. u. Totzke, I.: Bewertung kritischer Fahrsituationen während einer vollautomatisierten Fahrt. In: Alexander Schütz, Anna Schubö, Dominik Endres, Harald Lachnit (Hrsg.): 60. TeaP 2018. Abstracts of the 60th Conference of Experimental Psychologists. Lengerich: Papst Science Publisher
- [15] Jian, J.-Y., Bisantz, A. M. u. Drury, C. G.: Foundations for an Empirically Determined Scale of Trust in Automated Systems. International Journal of Cognitive Ergonomics 4 (2000) 1, S. 53–71
- [16] Ho, C.-C. u. MacDorman, K. F.: Measuring the Uncanny Valley Effect. International Journal of Social Robotics 9 (2017) 1, S. 129–139
- [17] Gauer, L.: Erprobung der Methodik "Wizard of Oz". 12. Doktorandenworkshop der Fachgruppe Verkehrspychologie der DGPS. Aachen 2018
- [18] Siebert, F. W., Oehl, M., Höger, R. u. Pfister, H.-R.: Discomfort in Automated Driving – The Disco-Scale. In: Stephanidis, C. (Hrsg.): HCI International 2013 - Posters' Extended Abstracts, Part II. International Conference, HCI International 2013, Las Vegas, NV, USA, July 21-26, 2013, Proceedings, Part II. Communications in Computer and Information Science, v.374. Berlin/Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2013, S. 337–341
- [19] Gauer, L. u. Totzke, I.: User-centered development of a display concept for fully automated driving. A methodical approach. ELIV 2019 - Der internationale Automobilelektronik-Kongress. Bonn 2019
- [20] Coelingh, E., Nilsson, J. u. Buffum, J.: Driving tests for self-driving cars. IEEE Spectrum 55 (2018) 3, S. 40–45



## ADAS Pick & Mix

### A use case based approach to the naming and configuration of advanced driver assistance systems

M.Sc. **T. Vogelpohl**, Spiegel Institut Ingolstadt GmbH, Ingolstadt;  
M.Sc. **N. Pärsch**, M.Sc. **F. Doubek**, Dr. -Ing. **L. W.H. Krauß**,  
Porsche AG, Weissach

#### Kurzfassung

Fahrerassistenzsysteme (FAS) sind in immer größerer Zahl in modernen Fahrzeugen verbaut. Häufig verwenden Fahrzeughersteller für FAS markenspezifische Bezeichnungen. Bei der Konfiguration und Bedienung von modernen FAS kann dies dazu führen, dass Fahrer nicht wissen, welche Funktionalität sich hinter einer markenspezifischen Bezeichnung verbirgt. Um das Verständnis und die Erlernbarkeit von neuen Fahrzeugfunktionen zu verbessern, schlagen wir eine auf Use Cases basierende Bezeichnung und Konfiguration von FAS vor. In einer Reihe von Nutzerstudien wurde ein auf Use Cases basierendes Human Machine Interface (HMI) für die Aktivierung und Konfiguration von FAS evaluiert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass durch Use Case Bezeichnungen die Erlernbarkeit und Verständlichkeit von FAS besonders für solche Fahrer verbessert werden kann, die FAS bislang wenig oder gar nicht genutzt haben.

#### Abstract

Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) have become widely available in modern production vehicles. Automotive OEMs frequently use brand specific names for ADAS. During the configuration and operation of such ADAS, drivers may not know what functionality is activated by a brand specific term. To improve the understandability and learnability of new vehicle functions, we propose a use case based approach to the naming and configuration of ADAS. Over several user testing sessions, we evaluated a use case based Human Machine Interface (HMI) for the activation and configuration of ADAS. Results indicate, that a use case based approach can improve the understandability and learnability of ADAS especially for those drivers, who have rarely or never used ADAS.

## 1. Vertriebsbezeichnungen für Fahrerassistenzsysteme

Hersteller aller Marken verbauen in ihren Fahrzeugen immer mehr und immer intelligentere Fahrerassistenzsysteme (FAS). FAS werden mit dem Ziel entwickelt, „Diskrepanzen zwischen den Anforderungen der Verkehrssituation und dem Leistungsvermögen des Fahrers zu beseitigen“ [1, S.24]. FAS versuchen daher, Fahrer durch Warnungen und regelnde Eingriffe in die Längs- und Querdynamik bei der Fahraufgabe zu unterstützen und übernehmen dabei im Falle einer Teilautomation von Fahrfunktionen zwischenzeitlich auch Teile der Fahraufgabe. Einige Abschätzungen gehen davon aus, dass sich durch die Verfügbarkeit von FAS in Fahrzeugen potentiell bis zu 70 % aller Unfälle vermeiden lassen [2].

Als besonders hilfreiche Systeme für die Vermeidung oder Abmilderung von Unfällen wurden von einer Europäischen Kommission die folgenden Systeme hervorgehoben: electronic stability program, blind spot monitoring, adaptive headlights, obstacle & collision warning und lane departure warning [3]. Nicht nur durch die englischen Bezeichnungen dieser Systeme wird ein wenig adressiertes Problem moderner FAS deutlich: Der Name eines FAS kann nur rudimentär und teilweise unzureichend die Funktionsweise und Wirkmechanismen des komplexen Warn- und Regelsystems beschreiben, das sich hinter einer solchen Funktion verbirgt. Zusätzlich kann das Verständnis und die Erlernbarkeit von FAS erschwert werden, wenn Fahrzeughersteller markenspezifische Vertriebsbezeichnungen für FAS verwenden. In einem Bericht der American Automobile Association (AAA) von 2019 fanden die Autoren nicht weniger als 20 unterschiedliche Namen für Abstandsregeltempomaten (Adaptive Cruise Control; ACC) und 19 unterschiedliche Namen für Spurhalteassistenten (Lane Departure Warning System; LDW) [4].

Die Autoren des Berichts kritisieren, dass viele Hersteller scheinbar die Vermarktbarkeit von FAS-Systembezeichnungen höher priorisieren als die Verständlichkeit und Eindeutigkeit der Benennung. So finden sich bei verschiedenen Herstellern so unterschiedliche Namen für ein ACC-System wie „Dynamic radar cruise control“ und „Distronic Plus“. Auch bei Parkassistenzsystemen dominieren markenspezifische Bezeichnungen, die für jeden Hersteller zunächst eine Recherche notwendig machen um die Fähigkeiten des jeweiligen Systems zu erfassen (z. B. Parklenkassistent Park Assist inkl. ParkPilot; Park-tronic inkl. Parkführung). Hierbei spielt natürlich auch eine unterschiedliche Paketierung von Systemen, sowie eine unterschiedliche Auslegung der Systeme eine Rolle, die noch einmal zusätzlich zu einer größeren Namensvielfalt innerhalb und zwischen Fahrzeugherstellern führt.

Besonders kritisch kann sich so eine Inkonsistenz in der Benennung von FAS auswirken, wenn es um neue „intelligente“ Systeme geht, die den Fahrern Teile der Fahraufgabe abnehmen und einen bestimmten Grad der Automatisierung erreicht haben. Prominentes Beispiel ist ein

amerikanischer Hersteller, der die Kombination aus aktiver Spurmittlenführung und ACC mit Verkehrszeichenerkennung als „Autopilot“ vermarktet. Das System entspricht einem Automationslevel 2 (nach Definition aus [5]), bei dem der Fahrer weiterhin vollständig für die Überwachung und Kontrolle des Systems zuständig ist, suggeriert aber Kunden durch die Bezeichnung „Pilot“ ein Automationslevel 3 oder höher, bei dem der Fahrer in bestimmten Szenarien nicht-fahrrelevante Tätigkeiten durchführen darf. Nach der Untersuchung eines tödlichen Unfalls mit aktiviertem „Autopilot“ System im Mai 2016 forderte das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) den Hersteller auf das System nicht weiter unter dem Namen „Autopilot“ zu vermarkten, da hierdurch falsche Erwartungen bei Fahrern geweckt werden könnten [6]. Auch die Vertriebsbezeichnungen anderer Hersteller für ähnliche Funktionsumfänge legen den Fokus eher auf kurze, für den Kunden leicht zu merkende Namen, die aber wenig über die Fähigkeiten des Systems verraten (z. B. „Super Cruise“).

In der Forschung wird das Thema Vertrauen in automatisierte Systeme bereits seit längerem diskutiert [7]. Die Autoren in [7] legen einen besonderen Fokus auf die angemessene Kalibrierung von Vertrauen in Automation: Weder darf ein System einen Funktionsumfang suggerieren, den es objektiv nicht abdeckt, noch darf ein System durch seine Gestaltung Zweifel an Fähigkeiten aufkommen lassen, die eigentlich Teil einer korrekten Funktionsweise sind. Die Folgen einer falschen Kalibrierung des Vertrauens in ein FAS können somit sowohl sein, dass Fahrer sich zu stark auf ein System verlassen („Overtrust“ oder „Overreliance“), als auch, dass Fahrer ein System nicht nutzen, obwohl es hilfreich oder sicherheitsfördernd wäre [8]. Die Gestaltung der Benutzeroberfläche und Mensch-Maschine-Schnittstelle eines FAS spielt für die korrekte Kalibrierung des Vertrauens eine entscheidende Rolle und der Name eines Systems ist wiederum ein wichtiger Teil der Interaktion des Fahrers mit einem FAS.

Den Fahrern begegnen die Namen von Assistenzsystemen im Wesentlichen an drei Touchpoints: Beim Kauf des Fahrzeugs, bzw. bei der Konfiguration der Fahrzeugausstattung, im Benutzerhandbuch des Fahrzeugs und bei der Aktivierung/Deaktivierung bzw. der Konfiguration des FAS im Fahrzeug. Für den letzten Touchpoint gibt es wiederum innerhalb des Fahrzeugs häufig verschiedene Bedienorte an denen der Fahrer mit Systembezeichnungen konfrontiert wird (z. B. innerhalb von Konfigurationsmenüs eines Zentraldisplays, als Icon/Schrift-Kombination im Kombiinstrument, als Icon/Schrift-Kombination auf dem Lenkrad oder an einem Lenkstockhebel). Im Idealfall sollte die Bezeichnung des FAS über alle Touchpoints und an allen Bedienorten innerhalb des Fahrzeugs konsistent verwendet werden. Es ergeben sich also die folgenden Anforderungen an Bezeichnungen für FAS und FAS-Einstellungen an allen Touchpoints:

- Einfache Verständlichkeit ohne Wissen über die jeweiligen Systeme
- Keine Verwendung von markenspezifischen Bezeichnungen von Systemen
- Möglichkeit zur standardisierten Verwendung über alle Touchpoints und Bedienorte hinweg
- Standardisierung zwischen allen Autoherstellern sofern möglich

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, schlagen wir eine auf Use Cases basierende Aktivierung/Deaktivierung und Konfiguration von FAS vor, die sich auch zur Konfiguration von Fahrzeugausstattungen und für die Erklärungen in Benutzerhandbüchern eignet. Im Folgenden ist beschrieben, wie sich FAS-Funktionen als Use Cases beschreiben und zur Konfiguration und Aktivierung/Deaktivierung von FAS nutzen lassen. Zusätzlich schlagen wir eine HMI vor, die die Vorteile dieser auf Use Cases basierenden Bezeichnungen nutzt, um FAS-Funktionen im Sinne eines „Pick & Mix“-Prinzips für den Fahrer frei konfigurierbar zu machen.

## 2. Use Case Bezeichnungen für FAS

Die Grundprämisse des Use Case basierten Ansatzes für die Benennung von FAS ist, dass sich alle (Teil-)Funktionen von FAS als Kombination von einfachen, kurzen Sätzen aus Nutzersicht beschreiben lassen, sogenannten „Use Cases“. So besteht z. B. die Funktion ACC aus den Bestandteilen „Eine eingestellte Geschwindigkeit halten“ und „Die Geschwindigkeit dem vorausfahrenden Fahrzeug anpassen“. Auf diese Weise lassen sich auch komplexe Funktionen in einzelne Bestandteile herunterbrechen. Am Beispiel des oben beschriebenen Level 2 „Autopilot“ Systems ließe sich die Funktion somit auch auf diese Weise darstellen:

- Eine eingestellte Geschwindigkeit halten.
- Die Geschwindigkeit an vorausfahrende Fahrzeuge anpassen.
- Die Geschwindigkeit an erkannte oder hinterlegte Tempolimits anpassen.
- Mittig in der erkannten Fahrspur fahren.
- Bei fehlender Spurmarkierung dem vorausfahrenden Fahrzeug folgen.

Um zu verifizieren, dass sich alle Konfigurationen von FAS-Systemen und alle Aktivierungs-/Deaktivierungsmöglichkeiten für FAS auf Use Case Bezeichnungen herunterbrechen lassen, wurden alle funktional im System hinterlegten Einstellungen gesammelt. Am Ende dieses Prozesses ergab sich eine Liste von ca. möglichen 50 Konfigurationsoptionen, die sich jedoch in fast allen Fällen auf einige wenige Use Cases herunterbrechen ließen. So konnten zum Beispiel eine Vielzahl von Optionen für verschiedene warnende FAS auf den Use Case „Bei dro-

hender Kollision warnen“ zusammengefasst werden. Auf Basis dieser reduzierten Konfigurationsmöglichkeiten wurde eine HMI für Fahrerassistenzsysteme entwickelt, die die verbleibenden Use Cases sinnhaft clustert und eine Konfiguration der verwendeten FAS während der Fahrt ermöglicht.

### **3. Design eines Use Case basierten HMI für Fahrerassistenz**

Eine Prämisse bei der Gestaltung war, dass sich alle längs- und querführenden FAS über einen einzigen Schritt innerhalb der Fahrerachse aktivieren/deaktivieren lassen müssen (z.B. am Lenkrad oder an einem Lenkstockhebel). Gleichzeitig sollten einige Sicherheitssysteme nur über eine komplexe Bedienhandlung zu deaktivieren sein, um einer unbeabsichtigten Deaktivierung sicherheitsrelevanter Systeme vorzubeugen. Diese Prämissen wurden teilweise aus Anforderungen an die Aktivierung/Deaktivierung von Lenksystemen (z. B. UN/ECE R-79; [9]), teilweise aus Anforderungen für die Bedienung von FAS (z. B. EuroNCAP Richtlinien) und teilweise aus Anforderungen verschiedener Märkte an maximale Blickabwendungszeiten (z. B., NHTSA, [10]) abgeleitet.

Auf Basis der extrahierten Use Cases wurden die längs- und querführenden Systeme in “Komfortsysteme” und “Sicherheitssysteme” aufgeteilt. Grundlage für diese Aufteilung waren sowohl die Einordnung der Use Cases auf Basis der oben genannten Anforderungen als auch mehrere Workshops mit Experten aus dem Bereich der FAS-Entwicklung. Als Komfortsysteme wurden solche Systeme klassifiziert, die dem Fahrer für einen bestimmten Zeitraum und für ein bestimmtes Umfeld aktiv einen Teil der Fahraufgabe abnehmen. Hierzu zählen somit alle Systeme, die aktiv die Geschwindigkeit halten oder die aktiv die Geschwindigkeit begrenzen und solche Systeme, die aktiv die Fahrspur mittig halten. Da das Halten und Begrenzen einer Geschwindigkeit eine Entweder/Oder Option ist, konnte der Use Case für die Längsführung weiter zusammengefasst werden. Hierdurch ergaben sich für die Komfortsysteme nur zwei relevante Use Cases: „Geschwindigkeit halten/begrenzen“ und „Fahrspur mittig halten“. Um dem Fahrer zusätzliche Konfigurationsmöglichkeiten für die längsführenden Systeme zur Verfügung zu stellen, wurden diesem Use Case jeweils zusätzliche Satzendungen zur Verfügung gestellt (z. B. „Geschwindigkeit halten + an Vorderfahrzeug anpassen“ = ACC; „Geschwindigkeit begrenzen + an Tempolimits anpassen“ = Funktion, die die Geschwindigkeit begrenzt mit integrierter Verkehrszeichenerkennung).

Als Sicherheitssysteme wurden alle Systeme klassifiziert, die den Fahrer in sicherheitskritischen Situationen warnen oder die in bestimmten Situationen aktiv in die Längs- oder Querführung eingreifen, um eine drohende Kollision zu verhindern oder um die Folgen einer Kollision

abzuschwächen. Unter diesen Systemen wurden alle Warn- und Bremsassistenten zusammengefasst, also z. B. Totwinkelwarner, Abstandswarner und Kollisionswarner, aber auch Notbremsfunktionen und Warnungen beim Verlassen der Spur. Entsprechend dieser Unterteilung wurden auf Grundlage eines bereits existierenden HMI-Gesamtkonzepts prototypische Benutzeroberflächen aufgebaut und im Rahmen eines iterativen Testprozesses mit Nutzern iterativ evaluiert und verbessert. Dieser iterative Testprozess ist im Folgenden beschrieben und stellt den Entwicklungsprozess des auf Use Cases basierenden Pick & Mix Konzepts für ein FAS-HMI dar.

#### 4. Evaluation und iterative Verbesserung des HMI

Im Automotive Umfeld wird Software mittlerweile häufig in einem agilen Projektumfeld (vgl. z. B. [11]) entwickelt. Im Detail bedeutet dies zum Beispiel, dass dem Projektteam zwei Wochen für die geplanten Arbeitspakete zur Verfügung stehen. Dieses Projektumfeld, das stark vom klassischen „Wasserfallvorgehen“ abweicht (vgl. [12]), stellt eine zentrale Herausforderung an die Integration von Nutzern in den Entwicklungsprozess: Der Wissensimpuls durch Nutzerforschung muss innerhalb kürzester Zeit zur Verfügung stehen, sodass das Projektteam im aktuellen Sprint mit diesem Wissen an der iterativen Weiterentwicklung von Konzepten arbeiten kann.

Zur Begegnung dieser zeitlichen Herausforderungen wurden „leichtgewichtige“ Methoden entwickelt, die häufig mit den Begriffen „Lean User Research“ (vgl. [13]) oder auch „Guerilla User Research“ (vgl. [14]). Eine Methode aus diesem Bereich ist die „Rapid Iterative Test and Evaluation Method“ (RITE) (vgl. [15]). Zwei zentrale Eigenschaften dieser Methode lassen sich aus ihrem Namen ableiten: Die Evaluationen sind schnell und folgen einem iterativen Ansatz. Die Schnelligkeit wird durch die Verkleinerung der Stichprobe gegenüber traditionellen Usability Tests erreicht. In der Regel werden Konzepte mit fünf Teilnehmern getestet. Dies folgt der Annahme, dass ein Großteil der Usability Probleme schon mit einer kleinen Stichprobe aufgedeckt werden kann (vgl. [16]). Die statistische Unsicherheit soll zumindest teilweise durch das mehrfache Testen verringert werden. Der Ablauf des Testens gleicht ansonsten in seinen Bestandteilen einem traditionellen Usability Test. Lediglich die Dokumentation und die Auswertung weichen ab.

Mithilfe der beschriebenen RITE-Methodik wurden die folgenden Forschungsfragen untersucht:

- Werden bekannte und unbekannte FAS-Funktionen verstanden, wenn sie durch Use Cases beschrieben werden?
- Wie lassen sich Use Case Bezeichnungen für FAS verfeinern, sodass die dahinterliegenden Funktionen auch von Laien verstanden werden?
- Ist die Aufteilung der Systeme nach Komfort- und Sicherheitssystemen für Nutzer nachvollziehbar?

#### 4.1. Versuchsumgebung

Die Studiendurchführung fand in zwei Räumlichkeiten statt: ein Versuchsräum und ein Beobachterraum (siehe Bild 1). Im Versuchsräum wurde die Befragung des Teilnehmers durch einen psychologisch geschulten und projektunabhängigen und somit neutralen Versuchsleiter durchgeführt. Die Aufgabenanweisung wurde anhand eines Videos gestützt, dass auf dem Bildschirm vor dem Teilnehmer präsentiert wurde. Der Proband erledigte die Bedienaufgaben im Anschluss mithilfe einer Bediensimulation auf einem Tablet mit Touchscreen. Die Durchführung wurde in den Beobachterraum übertragen (Audio/Video), in dem der Moderator, das Projektteam sowie Stakeholder den Ablauf verfolgen und Beobachtungen sowie Befunde notieren konnten ohne den Versuchsablauf zu stören.

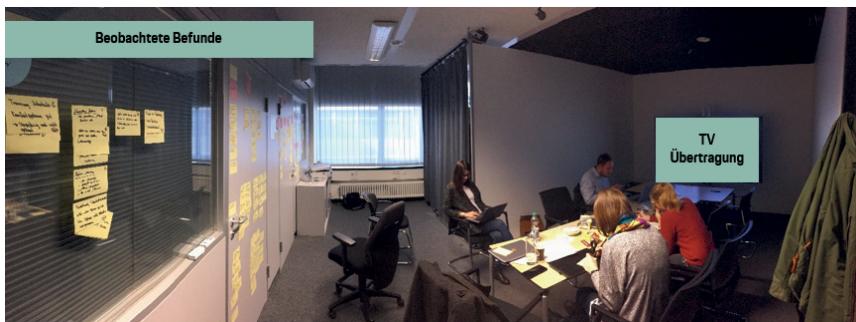


Bild 1: Beobachterraum

#### 4.2. Aufgaben und Versuchsablauf

Über den Entwicklungsverlauf des Use Case basierten FAS Anzeige- und Bedienkonzepts wurden insgesamt vier Evaluationen durchgeführt. Die ethischen und datenschutzrechtlichen Anforderungen an die Evaluationen wurden durch eine interne Kommission geprüft und die

konkrete Umsetzung wurde freigegeben. Einen Überblick über den Aufbau und die Abfolge der Tests zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Überblick über RITE Evaluationen

	RITE 1	RITE 2	RITE 3	RITE 4
Teilnehmer-Anzahl	5	5	5	5
Dauer pro Evaluation	30 Minuten	30 Minuten	20 Minuten	20 Minuten
Stimulus	Bediensimulation Tablet	Bediensimulation Tablet	Ausgedruckte Screens	Ausgedruckte Screens
Vorbefragung	Erfahrungen mit FAS; Likes & Dis- likes FAS; Erwar- tungen an FAS	Erfahrungen mit FAS; Likes & Dis- likes FAS; Erwar- tungen an FAS	Erfahrungen mit FAS	Erfahrungen mit FAS
Hauptbefragung	Vorstellung des Menüs; Bedien- aufgaben 1-5; Be- urteilung aller Texte	Vorstellung des Menüs; Bedien- aufgaben 1-5; Be- urteilung aller Texte	Vorstellung des Menüs; Beurtei- lung aller Texte	Vorstellung des Menüs; Beurtei- lung aller Texte
Nachbefragung	Akzeptanz Use Case Bezeich- nungen; Likes & Dislikes	Akzeptanz Use Case Bezeich- nungen; Likes & Dislikes	Akzeptanz Use Case Bezeich- nungen; Likes & Dislikes	Akzeptanz Use Case Bezeich- nungen; Likes & Dislikes

Die Tests fanden mit einem Abstand von zwei bis drei Wochen statt. Zwischen jedem Test wurden Optimierungen am HMI Konzept durch das Projektteam vorgenommen, sodass in der folgenden Iteration ein neuer Stand getestet wurde. In den ersten beiden Evaluationen lag der Fokus v. a. auf dem generellen Menüaufbau und dem Verständnis von Use Case basierten FAS-Bezeichnungen. Hierzu wurden unter anderem Bedienaufgaben gestellt, bei denen der Nutzer eine FAS-Funktion (z. B. ACC) mithilfe des Menüs aktivieren sollte. Der Teilnehmer sah hierzu zuerst ein Video, in dem das gewünschte FAS erklärt wurde (siehe Bild 2). Nach Ablauf des Videos aktivierte der Teilnehmer die Funktion anhand der vorliegenden Bediensimulation und wurde währenddessen zu „lautem Denken“ animiert. Im Anschluss an alle Aufgaben wurden die jeweiligen Texte beurteilt und die generelle Akzeptanz thematisiert. In den

Evaluationen RITE 3 und RITE 4 fand eine Anpassung des Vorgehens statt, da das Grobkonzept finalisiert wurde und lediglich einzelne Texte evaluiert und optimiert werden sollten. Hierzu wurde den Teilnehmern das ausgedruckte FAS-Menü vorgelegt. Daraufhin beschrieben die Probanden ihr Verständnis der einzelnen Menüpunkte, die die FAS-Funktionen anhand von Use Case-Bezeichnungen beinhalten.



Bild 2: Beispielbilder aus dem Video zur Erklärung der ACC-Funktion

(Quelle: Volkswagen AG, [https://www.youtube.com/watch?v=-xgo4vnk\\_Q](https://www.youtube.com/watch?v=-xgo4vnk_Q),  
online abgerufen am 18.09.2019)

#### 4.3. Teilnehmer

Insgesamt nahmen an den Evaluationen  $N = 20$  Teilnehmer teil, davon  $n = 5$  weibliche und  $n = 15$  männliche Teilnehmer. Das Alter der Testpersonen verteilte sich gleichmäßig auf die Gruppen „unter 40 Jahre“ und „ab 40 Jahre“. Die Erfahrung mit FAS variierte zwischen den Teilnehmern, es waren Laien sowie fortgeschrittene Nutzer von FAS vertreten. Alle Teilnehmer waren Angestellte aus dem Automotive Umfeld, hatten jedoch keine Verbindung zur HMI Entwicklung und keine Erfahrung mit dem vorliegenden Fahrzeugprojekt.

#### 4.4. Auswertung

Bei der Auswertung einer RITE Session wurde folgendes Vorgehen gewählt: Das Projektteam und eingeladene Stakeholder erhielten Klebezettel auf denen sie während des Interviews Beobachtungen und Befunde notierten. Diese Notizen wurden durch einen Moderator parallel und im Anschluss an die Versuchsdurchführung an einer Wand strukturiert gegliedert. Nachdem ein Teilnehmer das Interview beendet hatte, wurde eine durch den Versuchsleiter modulierte Nachbesprechung durchgeführt. Um eine Interrater-Reliabilität zu gewährleisten, wurde jede Notiz besprochen und bei Bedarf diskutiert. Nach Ablauf aller fünf Evaluationen wurde ein Abschlussworkshop durchgeführt. An diesem Workshop durften nur Beobachter teilnehmen, die mindestens drei Evaluationen begleitet hatten. Diese Maßnahme sollte Diskussionen

mit geringer empirischer Grundlage vorbeugen. Im Workshop wurden die wesentlichen Befunde und Beobachtungen dokumentiert und im Anschluss an alle relevanten Stakeholder verteilt. Das Projektteam nutzte diese Ergebnisse im weiteren Verlauf für Konzeptanpassungen, die iterativ in die jeweils nächste Entwicklungsstufe des Konzepts einflossen.

Durch die Einbindung des Entwicklungsteams, der Function Owner und weiteren Stakeholdern konnte insgesamt eine höhere Akzeptanz der Ergebnisse erreicht werden. Gegenüber dem klassischen Forschungsvorgehen, bei dem Stakeholder z. T. erst bei der Ergebnispräsentation mit den Inhalten konfrontiert werden, waren hier Stakeholder bei der Planung, Durchführung und Auswertung direkt involviert. Neben der Steigerung der Akzeptanz der Ergebnisse wurden hierdurch gleichzeitig die Aufwände bei der Dokumentation und Präsentation der Ergebnisse verringert.

## 5. Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen des oben beschriebenen Prozesses konnte ein auf Use Cases basierendes Konzept für die Konfiguration von FAS entwickelt werden, das den gestellten Anforderungen entspricht. Eine schematische Darstellung des Menükonzepts ist in Bild 3 bis Bild 5 dargestellt. Wie in den Abbildungen zu erkennen ist, greift das finale Konzept die Trennung zwischen Komfort- und Assistenz-Use Cases in zwei unterschiedliche Menüs auf und verwendet in beiden Menüs ausschließlich Use Case-basierte Bezeichnungen. Gleichzeitig konnte die Anzahl der Optionen für die Nutzer reduziert werden.

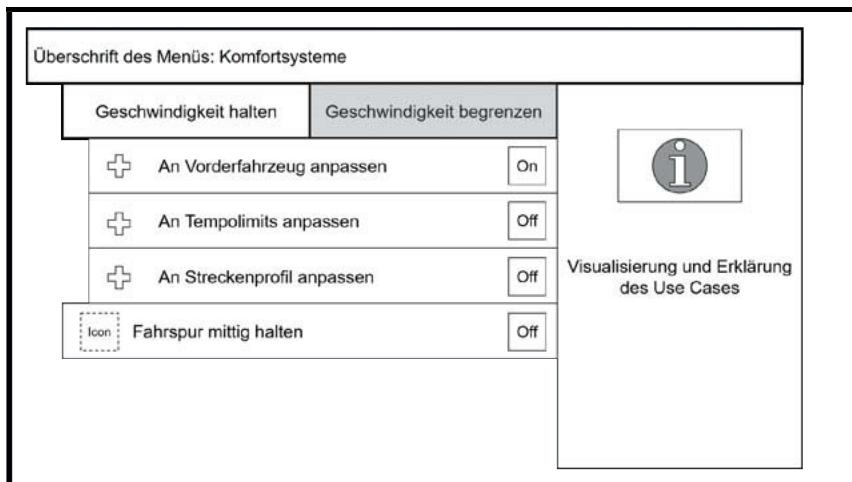


Bild 3: Schematische Darstellung des Menüs für Komfortsysteme mit aktiviertem Use Case „Geschwindigkeit halten + an Vorderfahrzeug anpassen“.

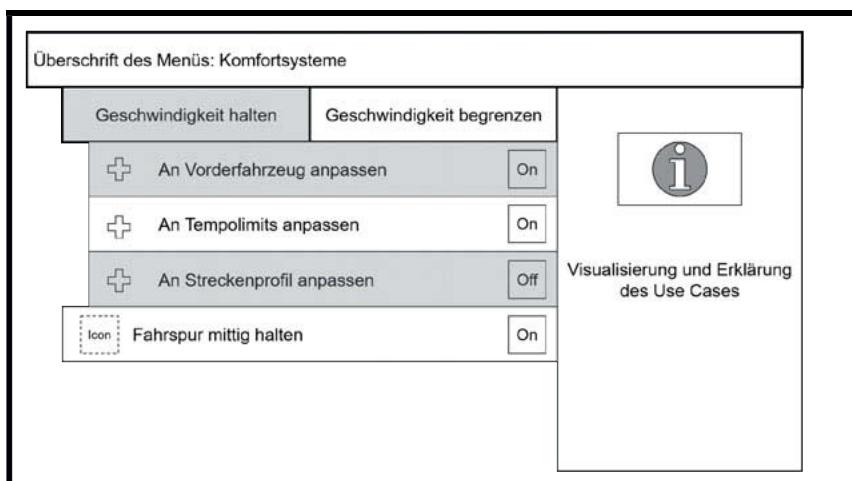


Bild 4: Schematische Darstellung des Menüs für Komfortsysteme mit aktiviertem Use Case „Geschwindigkeit begrenzen + an Tempolimits anpassen“, sowie „Fahrspur mittig halten“.

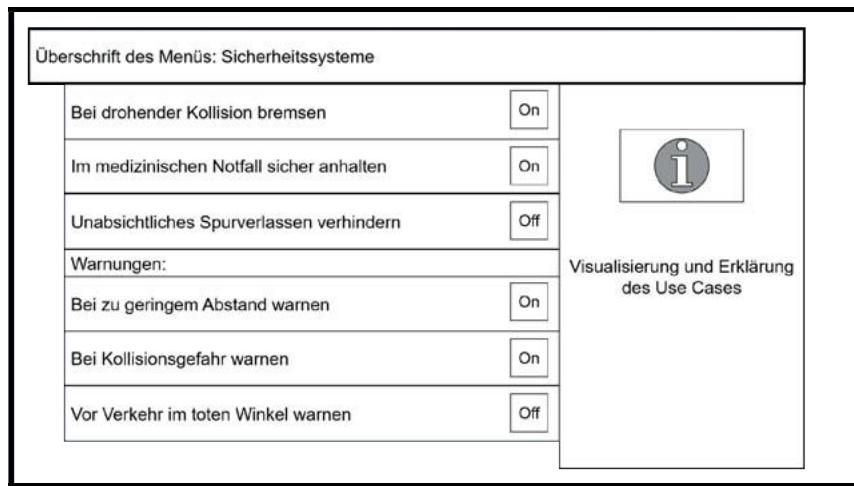


Bild 5: Schematische Darstellung des Menüs für Sicherheitssysteme mit aktivierten Use Cases „Bei drohender Kollision bremsen“, „Im medizinischen Notfall sicher anhalten“, „Bei zu geringem Abstand warnen“ und „Bei Kollisionsgefahr warnen“.

Während der iterativen Nutzertests konnte überprüft werden, dass die Trennung zwischen Komfortsystemen und Sicherheitssystemen von den Nutzern verstanden und akzeptiert wird. Auch die Trennung zwischen der Konfiguration der FAS-Komfortsysteme und der Aktivierung/Deaktivierung über einen separaten Bedienort (hier am Beispiel eines Bedienelements in der Fahrerachse) wurde von den Nutzern in den Testsessions schnell verstanden und angenommen. Die Metapher „das Menü konfiguriert den Inhalt des Bedienelements“ scheint somit zu funktionieren und könnte zur Erfüllung der Anforderungen an einen zentralen Aktivierungs-/Deaktivierungsplatz für die FAS verwendet werden. Usability Probleme ergaben sich während der Nutzertests vor allem durch die Formulierungen der Use Cases. Hier waren die durchgeführten Iterationen essentiell, um zu Formulierungen zu gelangen, die von allen Probanden verstanden werden. In einem auf Use Case-Bezeichnungen basierenden System sollte ein besonderer Fokus daher auf die exakte Formulierung und Gestaltung der Texte gelegt werden. Details wie „begrenzen“ im Vergleich zu „limitieren“ können hier einen entscheidenden Unterschied für die Nutzer bedeuten und sollten für alle verwendeten Systemsprachen genau überprüft werden, um ein korrektes Verständnis sicherzustellen.

Eine weitere gewonnene Erkenntnis aus den Nutzertests war, dass das Konzept eines „Pick & Mix“ Systems zwar grundsätzlich verstanden wird, die Möglichkeit eine längsführende Funktion durch mehrere Use Cases zu ergänzen (z. B. „Geschwindigkeit halten“ + „an Streckenprofil anpassen“) aber deutlich im Design des Menüs hervorgehoben werden muss. Hier waren mehrere Designiterationen notwendig, um eine Lösung zu erzielen, bei der das Layout und die räumliche Anordnung der Menüeinträge diese Möglichkeit für die Nutzer eindeutig verständlich darstellte. Icons und Symbole können hier das Verständnis zusätzlich zu den Use Case-Bezeichnungen unterstützen und sollten zusammen mit erklärenden Visualisierungen oder Animationen genutzt werden, um die Use Cases weiter zu verdeutlichen.

Durch die iterativen Nutzertests konnten nicht alle Aspekte des neu entwickelten Anzeige- und Bedienkonzepts evaluiert werden. Unklar bleibt, ob die Use Case Bezeichnungen dazu beitragen, das Vertrauen in die angebotenen FAS zu steigern bzw. das Vertrauen in die FAS angemessen zu kalibrieren. Hierzu sind weitere Tests notwendig, die diesen Aspekt weiter beleuchten. Es kann aber vermutet werden, dass durch das gesteigerte Verständnis der Fahrer durch Use Case-Bezeichnungen im Vergleich zu unbekannten Vertriebsbezeichnungen implizit auch ein besser kalibriertes Vertrauen in die teilautomatisierten Systeme erreicht werden kann. Weiterhin bleibt offen, ob das reduzierte Menü für die Komfortsysteme zu einer häufigeren Nutzung solcher FAS durch die Fahrer führen kann. Ein Ziel, dass durch die entwickelten Use Case-Bezeichnungen nur teilweise erreicht werden konnte, ist die Verwendbarkeit der Bezeichnungen an allen Touchpoints innerhalb des Fahrzeugs. Damit die Use Case-Bezeichnungen auch für Laien verständlich sind, müssen solche Bezeichnungen häufig länger sein als generische Vertriebsbezeichnungen oder auch als die in Entwicklungskreisen etablierten Bezeichnungen. An einigen Bedienorten innerhalb des Fahrzeugs ist aber für längere Bezeichnungen aktuell kein Platz vorgesehen (z. B. im Kombiinstrument oder auf Schaltern am Lenkrad bzw. auf dem Lenkstockhebel). Hier werden aktuell häufig Abkürzungen (z. B. „LIM“ für eine die Geschwindigkeit begrenzende Funktion) oder auch Icons verwendet. Dieses Problem könnte adressiert werden, indem klar verständliche Icons konsequent mit den entsprechenden Use Case-Bezeichnungen assoziiert und hierdurch von den Fahrern erlernt werden. Eine zusätzliche Möglichkeit für die konsequente Verwendung von Use Case-Bezeichnungen könnte die Konfiguration des Fahrzeugs beim Fahrzeugkauf sein. Auch hier könnte das vorgeschlagene Konzept eingesetzt werden, sodass sich ein zukünftiger Fahrer eines Fahrzeugs genau zusammenstellen kann, welche Use Cases er in seinem Fahrzeug verwenden möchte. Die Frage „Was soll mein Fahrzeug können?“ könnte hierbei durch die Auswahl von Use Case-

Bezeichnungen beantwortet werden. Besonders vor dem Hintergrund, dass Fahrzeuge zukünftig durch Updates neue Funktionen erhalten könnten, scheint dieser Ansatz sinnvoll zu sein.

## 6. Literatur

- [1] Gelau, C., Gasser, T. M., & Seeck, A. (2009). Fahrerassistenz und Verkehrssicherheit. In Winner & Hakuli: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (pp. 24-32). Vieweg+ Teubner.
- [2] Vollrath, M., Briest, S., Schießl, C., Drewes, J., & Becker, U. (2006). Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit.
- [3] Kulmala, R., & Mäuerer, H. J. (2005). Final Report and Recommendations of the Implementation Road Map Working Group. eSafety Forum, Brussels, 18 October 2005. *Online verfügbar unter [http://www.ictct.org/migrated\\_2014/ictct\\_document\\_nr\\_64\\_P1\\_Kulmala.pdf](http://www.ictct.org/migrated_2014/ictct_document_nr_64_P1_Kulmala.pdf) (12.11. 2014).*
- [4] American Automobile Association (2019). Advanced Driver Assistance Technology Names. AAA's recommendation for common naming of advanced safety systems. *Online verfügbar unter <https://www.aaa.com/AAA/common/AAR/files/ADAS-Technology-Names-Research-Report.pdf>*
- [5] Society of Automotive Engineers (2018). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. *Online verfügbar unter [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_201806/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/)*
- [6] Zeit Online (2016). Tesla muss in Deutschland auf "Autopilot" verzichten. *Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/mobilitaet/2016-10/kraftfahrt-bundesamt-tesla-autopilot>*
- [7] Lee, J. D., & See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human factors*, 46(1), 50-80.
- [8] Inagaki, T., & Itoh, M. (2013). Human's overtrust in and overreliance on advanced driver assistance systems: a theoretical framework. *International journal of vehicular technology*, 2013.
- [9] UN/ECE (laufend aktualisiert). Regelung Nr. 79 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der Lenkanlage. *Online verfügbar unter <http://www.un-ece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocstts.html>*
- [10] NHTSA (2014). Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines for In-Vehicle Electronic Devices. *Online verfügbar unter <https://www.federalregister.gov/documents/2014/09/16/2014-21991/visual-manual-nhtsa-driver-distraction-guidelines-for-in-vehicle-electronic-devices>*

- [11] Schwaber, K., & Beedle, M. (2002). *Agile software development with Scrum* (Vol. 1). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- [12] Balaji, S., & Murugaiyan, M. S. (2012). Waterfall vs. V-Model vs. Agile: A comparative study on SDLC. *International Journal of Information Technology and Business Management*, 2(1), 26-30.
- [13] Sharon, T. (2016). *Validating product ideas: through lean user research*. Rosenfeld Media.
- [14] Buley, L. (2013). *The user experience team of one: A research and design survival guide*. Rosenfeld Media.
- [15] Medlock, M. C., Wixon, D., Terrano, M., Romero, R., & Fulton, B. (2002). Using the RITE method to improve products: A definition and a case study. *Usability Professionals Association*, 51.
- [16] Lewis, J. R. (1991). Legitimate use of small samples in usability studies: Three examples. *IBM Human Factors*. Boca Raton, 20.



# Erfassung der Fahrerübernahmefähigkeit im automatisierten Fahren anhand von Fahrerbeobachtungen

## Estimating Human Performance Resources in Takeover Situations by Driver's Observation

**N. D. Herzberger, G. M. I. Voß**, RWTH Aachen University, Aachen;  
Prof. Dr. **M. Schwalm**, e.2GO GmbH, Aachen;  
Prof. Dr. **F. Flemisch**, Fraunhofer Institut FKIE, Wachtberg;  
Dr. **E. Schmidt**, Dr. **A. Sitter**,  
Ford Research and Innovation Center, Aachen

### Kurzfassung

Um die Übernahmefähigkeit von Fahrern im automatisierten Fahren zu ermitteln, könnten Systeme zur Fahrerzustandserfassung in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Für die Entwicklung solcher Systeme, welche die Involvierter des Fahrers in die Fahraufgabe erkennen und sogar die Übernahmeequalität vorhersagen können, ist eine Sammlung messbarer Kriterien notwendig. Diese Studie wurde dahingehend konzipiert, dass sie über klassische Ansätze hinausgeht und neben etablierten Messmethoden wie Blickrichtungs- oder Kopfpositionsmessung auch die Fähigkeiten der menschlichen Beobachtung nutzt. Für eine erste Kriteriensammlung wurden aktuelle Veröffentlichungen analysiert und Interviews mit Fahrlehrern durchgeführt. Anschließend erfolgte eine Datenerhebung. Diese beinhaltete zunächst die Erstellung von Stimulusmaterial, das für eine spätere Onlinestudie benötigt wurde. Zur Erstellung dieses Materials, wurde eine Fahrsimulatorstudie durchgeführt, bei der die Teilnehmer ein automatisiertes Fahrzeug fuhren, bis sie eine Übernahmeaufforderung erhielten. Während dieser automatisierten Fahrt bekamen zwei Drittel der Teilnehmer eine von zwei fahrfremden Tätigkeiten angeboten. Die Versuchsfahrten wurden per Video aufgezeichnet. Im Rahmen der anschließenden Onlinestudie wurden die aufgenommenen Videoausschnitte Beurteilern gezeigt. Die Übernahmeaufforderung und -situation selbst wurden in den Videos nicht gezeigt, so dass die Beurteiler nur das Verhalten der Fahrer während der automatisierten Fahrt und nicht deren Orientierungsreaktionen auf die Übernahmeaufforderung beurteilen konnten. Die Beurteiler wurden gebeten einzuschätzen, wie gut die Fahrer in den Videos eine plötzliche Übernahme bewältigen könnten. Des Weiteren sollten die Kriterien angegeben werden, nach welchen die

Beurteiler ihre Bewertung vornahmen. Anschließend wurden die Einschätzungen der Beurteiler mit den tatsächlichen Übernahmleistungen der Fahrten im Fahrsimulator verglichen, um zu prüfen, ob menschliche Beobachter für diese beispielhafte Situation in der Lage sind, die Übernahmegalität vorherzusagen und nutzbare Kriterien für ein Fahrereinschätzungssystem abzuleiten. Es stellte sich heraus, dass in dem gegebenen Versuchsaufbau weder durchschnittliche menschliche Beobachter noch Fahrlehrer, die das Verhalten anderer Fahrer täglich beurteilen, lediglich durch die Beobachtung anderer Fahrer während einer automatisierten Fahrt deren Übernahmleistung sicher vorhersagen können.

## Abstract

In order to measure and support driver take-over ability in automated driving, driver state monitoring systems could play an important role in the future. To develop such systems that can detect the driver's involvement in the driving task or even predict the driver's takeover quality, various measurable criteria could be of interest. The current work was designed to go beyond classical approaches and leverage human observatory skills in addition to more established measures like gaze direction or head position. For an initial criteria collection, recent publications were scrutinized and interviews with driving instructors were conducted. Afterwards, a data acquisition followed. It included the generation of stimulus material required for a subsequent online study. For this purpose, a driving simulator study was carried out, in which participants had to drive an automated driving system until they received a takeover request. During the automated ride, two-third of the participants were offered one of two non-driving related tasks. The test drives were recorded with a video camera. Within the subsequent online study, raters were shown the video sequences. The takeover itself was not shown in the videos, so that the raters could only assess the behavior of the drivers during the automated ride and not their orientation reactions to the takeover request. The raters were then asked to assess how well the drivers in the videos would manage a takeover if they were suddenly required to do so and which criteria the raters used for their assessment. Subsequently, the assessments of the raters were compared with the actual takeover performances of the drivers in the driving simulator in order to assess whether human observers are able to predict the takeover quality and to derive usable criteria for a driver monitoring system for the given set of observations. It turned out, that neither average human observers nor driving instructors, who assess the behavior of other drivers on a daily basis, could easily predict takeover performance from merely observing driver's behavior during an automated ride.

## 1. Einleitung

Forschung und Industrie arbeiten intensiv an der Entwicklung und Integration von automatisierten Fahrfunktionen. Abhängig vom SAE-Automatisierungsgrad [1] muss der Fahrer die dynamische Fahraufgabe nicht mehr kontinuierlich selbst ausführen, sondern kann sich auf fahr-fremde Tätigkeiten (FFT) konzentrieren. Je nach Automatisierungsgrad ist es jedoch notwendig, dass der Fahrer die Fahraufgabe bisweilen wieder übernimmt. Dieser Übergang zwischen unterschiedlichen Kontrollverteilungen zwischen Mensch und Maschine kann jedoch zu einem Verlust der Mode Awareness [2, 3, 4] und damit zu einem kritischen Kontrolldefizit führen [5]. Um zu beurteilen, ob der Fahrer in der Lage ist, die Fahraufgabe zu übernehmen, sind verschiedene Ansätze zur Erfassung möglicher Fahrzustände denkbar. Zur validen Detektion möglicher Fahrerzustände und vor allem zur Vorhersage zukünftiger Übernahmequalitäten der Fahraufgabe durch den Fahrer, fehlen bislang aber klar voneinander abgrenzbare und verlässlich messbare Kriterien. Die vorliegende Studie versucht diese Kriterien über einen neuen Ansatz zu identifizieren. Ausgehend von dem Gedanken, dass Beifahrer in der Regel ein gutes Gespür für die (fehlende) Involvierung des Fahrers in die Fahraufgabe haben, soll hier versucht werden, durch den Einsatz menschlicher Beobachter eine erste Kriteriensammlung zu identifizieren. Diese Kriterien könnten in Zukunft durch Fahrereinschätzungssysteme im Fahrzeug detektiert werden, um möglichen Kontrolldefiziten zuvorzukommen.

## 2. Stand der Technik und Experteninterviews

Um einen Ausgangspunkt sowie eine erste Kriteriensammlung zu identifizieren, wurde zunächst der Stand der Technik recherchiert. Dabei wurde der Schwerpunkt auf nationale wie internationale Veröffentlichungen gelegt, die mögliche Fahrerzustände, deren Erfassung, oder das Themenfeld Fahrerinvolvierung behandeln. Insgesamt wurden 21 Literaturquellen detailliert ausgewertet und erste mögliche Kriterien gesammelt. Um zusätzliche Ansätze zur Beobachtung von Fahrern bzw. Menschen im Allgemeinen zu erhalten, wurden im Anschluss Experteninterviews durchgeführt. Zunächst wurde ein Interview mit einer Pädagogin am Autismus Therapie Zentrum Trier durchgeführt. Da Autisten häufig Schwierigkeiten im Lesen von nonverbaler Interaktion wie z.B. Mimik und Gestik haben [6], wurde dieser Weg gewählt um, basierend auf Trainings für Autisten, zu identifizieren, welche Kriterien sich zur Erkennung von Aufmerksamkeit erfassen lassen. Anschließend wurden weitere standardisierte bilaterale Interviews mit Fahrlehrern ( $N = 5$ ) aus der Städteregion Aachen durchgeführt, da diese das Verhalten anderer Fahrer täglich beobachten und bewerten. Die interviewten Fahrlehrer waren allesamt männlich und im Durchschnitt  $M = 48$  Jahre alt ( $SD = 12$  Jahre). Sie hatten durchschnittlich 23 Jahre Erfahrung als Fahrlehrer ( $SD = 13$  Jahre) und führten im Durchschnitt 46

Fahrstunden pro Woche ( $SD = 13$  Fahrstunden) durch. Das Interview begann mit 13 offenen Fragen, die folgende Themen adressierten: Eingriffe des Fahrlehrers in die Fahrzeugführung (z.B. Situationen, Zeitpunkt, auslösende Kriterien, auslösendes Verhalten der Fahrschüler), Fahrerzustand der Fahrschüler (z.B. Unterscheidung der Zustände, zeitliche Entwicklung, Kriterien) sowie Bereitschaft zur Fahrprüfung (z.B. Verhalten der Fahrschüler, Kriterien). Anschließend an den Fragenblock, wurden fünf Beispielsituationen mit häufigen Unfallfolgen diskutiert: Abbiegen innerorts, Kreuzungsszenario, Gradeausfahrt bei abbiegender Vorfahrtstraße, Unterschreitung des Sicherheitsabstands auf Landstraßen/ Autobahn sowie Überschreitung der Geschwindigkeitsbegrenzung auf Landstraßen/ Autobahn.

Tabelle 1: Mögliche Kriterien zur Einschätzung von Fahrern

Beobachtung der Verkehrssituation	Fahrerverhalten	Blickverhalten	Sonstige Kriterien
Wahrnehmung und Einhaltung der StVO	Qualität der Ausführung von Fahrmanövern	Blicke in die (Seiten-) Spiegel	Körperhaltung
Vorausschauendes Fahren	Qualität der Reaktionen auf Situationen	Kontrollblicke (z.B. Schilder, Tacho)	Handhaltung
Erkennen von Risiken/ relevanten Objekten	Fehler im Fahrzeugbetrieb	Schulerblicke/ Toter Winkel	Geschlecht
Ablenkung	Geschwindigkeit	Zeitlicher Abstand der Blicke nach vorne	Schweißbildung
	Annäherungsverhalten	Fixierung von Objekten	Zittern
	Verkehrsrhythmus		Klang der Stimme
	Riskantes Fahren		Außerungen
	Hektisches Fahren		
	Längs- und Querabstand		
	Reaktionszeiten		
	Fahrerfahrung		

Die Fahrlehrerinterviews wurden im Anschluss transkribiert und ausgewertet. Die identifizierten Fahrerzustände sowie genannten Kriterien wurden hiernach den Ergebnissen aus der Recherche zum Stand der Technik und dem ersten Experteninterview gegenübergestellt und gleiche Nennungen wurden aussortiert. Dies ergab, in alphabetischer Reihenfolge, folgende mögliche Fahrerzustände: Aggressivität, Angst, Emotionalität, Krankheit, Müdigkeit, Nervosität, Normalität, Risikobereitschaft, Selbstüberschätzung, Selbstvertrauen, Traurigkeit, Übervorsichtigkeit, Verärgerung. Des Weiteren wurden 27 Kriterien zur Einschätzung von Fahrern identifiziert, welche in vier Gruppen zusammengefasst wurden (siehe Tabelle 1). Diese ersten identifizierten Kriterien und Fahrerzustände, sollen im Folgenden um empirisch erfasste Bewertungskriterien menschlicher Beobachter erweitert werden. Dazu sollen Videos von Fahrern während einer automatisierten Fahrt im Rahmen einer Onlinestudie von Beurteilern dahingehend bewertet werden, ob die Fahrer eine sichere Übernahme durchführen könnten und welche Kriterien darauf hindeuten.

### 3. Fahrimulatorstudie

Zur Erstellung des Video-Stimulusmaterials für die nachfolgende Onlinestudie wurde eine Fahrimulatorstudie durchgeführt, bei der die Probanden ein automatisiertes Fahrzeug fuhren, bis sie eine Übernahmeaufforderung (TOR) [7] erhielten. Zwei Drittel der Versuchspersonen wurde eine von zwei FFTen angeboten. Während der Fahrt im Simulator wurden die Probanden aus zwei unterschiedlichen Perspektiven gefilmt.

#### 3.1 Material

**Fahrimulator.** Die Studie wurde im statischen Fahrsimulator des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University durchgeführt. Als Mock-Up diente ein BMW 5er, F10, Baujahr 2012. Die eingesetzte Fahrsimulationssoftware war Virtual Test Drive (VTD) von Vires. Als Fahrsituation wurde eine zweispurige Autobahn ohne Standstreifen (RQ 31 [8]) gewählt. Die Strecke enthielt sowohl gerade als auch kurvige Passagen. Mit dem Ziel, eine möglichst stimulusarme Umgebung darzustellen, gab es keinen mitfließenden und entgegenkommenden Verkehr. Das Studienkonzept beinhaltete eine SAE Level 2 Fahrfunktion [1], welche durch das Drücken eines Knopfes auf der rechten Seite des Multifunktionslenkrads aktiviert wurde. Der Knopf war für die Studie mit einem orangenen Punkt markiert. Das System war so ausgelegt, dass es bei Aktivierung Längs- und Querführung vollständig übernehmen konnte, sofern keine Systemgrenzen (zu enge Kurvenradien) erreicht wurden. Ferner war es nicht notwendig die Hände durchgehend oder nach einer bestimmten Zeitspanne wieder ans Lenkrad zu nehmen. Das System konnte sowohl durch Brems- und Lenkeingriffe als auch durch erneutes Drücken des orangenen Punktes deaktiviert werden. Wenn das System eine Systemgrenze erreichte, wurde ein TOR gegeben. Dieser beinhaltete ein akustisches Signal und eine visuelle Benachrichtigung im Instrument Cluster in Form eines roten Lenkrads mit Hands-On Symbol. Nach einer 13-minütigen Fahrt, bei 130km/h, die eine fiktive Situation darstellt, trat eine kritische Situation in Form einer für das System zu engen Linkskurve auf. Dabei wurde ein, laut Richtlinie für die Anlage von Autobahnen, RAA 2008, noch zulässiger aber sehr enger Radius gewählt. Diese Linkskurve führte zur Abschaltung des Systems, welche durch einen TOR angekündigt wurde, und der Fahrer musste die Fahraufgabe wieder übernehmen. Die Time-to-line crossing betrug 2,8 Sekunden.

**Fahrfremde Tätigkeit (FFT).** Im Rahmen dieser Studie wurden zwei FFTen genutzt: Die erste, visuell-haptische, war ein Tetris Marathon Spiel, auf einem Tablet (Samsung Galaxy Tab S3), welches im Center Stack montiert war. Die zweite, auditive, FFT war ein Skype-Telefonat, welches ebenfalls über das Tablet erfolgte. Das Telefonat wurde ohne Video durchgeführt. Dabei wurden den Teilnehmern Quizfragen gestellt. Die FFTen wurden so gewählt, dass sie

im Experiment eine relevante Varianz in der Übernahmleistung erzielen. Unter realen Bedingungen wäre Tetris keine geeignete FFT während einer SAE Level 2 Fahrt, da keinerlei Abwendung vom Verkehrsgeschehen zugelassen ist.

*Fragebögen.* Um den subjektiven physiologischen Zustand der Teilnehmer zu erfassen, wurde die deutsche Version der Karolinska Sleepiness Scale (KSS) [9] und die schwedische Occupational Fatigue Inventory (Sofi Scale) beantwortet. Aus der deutschen Übersetzung der Sofi-Skala [10] wurden die beiden ursprünglichen Faktoren "Schläfrigkeit" und "Mangelnde Initiative" sowie einer der von Jilg (2004) zusätzlichen eingeführten Faktoren "Mentale Leistungsfähigkeit" verwendet. Die subjektive Bewertung der kritischen Fahrsituation und des TOR-Signals erfolgte durch die Fahrer über einen zusätzlichen Fragebogen, dessen Ergebnisse nicht Gegenstand dieser Veröffentlichung sind.

### 3.2 Design

Die Studie stellt ein Zwischensubjektdesign mit der unabhängigen Variable FFT (keine FFT vs. Tetris vs. Skype-Telefonat) dar. Die Teilnehmer wurden in zufälliger Reihenfolge einer der drei Bedingungen zugewiesen. Als abhängige Variable wurden Fahrdaten analysiert, welche Aufschluss über die Qualität der Übernahmleistung geben. Basierend auf der Übernahmleistung in der kritischen Situation, wurden die Probanden den Gruppen „erfolgreiche Übernahme“ (EÜ) oder „nicht erfolgreiche Übernahme“ (NEÜ) zugeordnet. Das Kriterium EÜ war erreicht, wenn nach gegebenem TOR das Fahrzeug in der Linkskurve nicht die Mitte der kurvenäußeren Fahrstreifenmarkierung überfuhr. Wurde die Mitte der kurvenäußeren Fahrstreifenmarkierung jedoch berührt oder überfahren, so wurde die Übernahme als NEÜ klassifiziert. Vor allem unter der Bedingung, dass kein anderer Verkehr simuliert wurde, entspricht dies einem sehr strengen Kriterium. Dies wurde so gewählt, um eine ausreichende Menge NEÜn zu erhalten.

### 3.3 Vorgehen

Nach einer kurzen Begrüßung unterzeichnete der Teilnehmer eine Datenschutz- sowie eine Vertraulichkeitserklärung. Anschließend füllte der Teilnehmer einen soziodemografischen Fragebogen, die KSS und die Sofi-Skala aus. Daraufhin betrat der Teilnehmer das Mock-Up und erhielt eine kurze allgemeine Einführung in den Fahrsimulator. Der Teilnehmer schnallte sich an, stellte die Sitzposition sowie die Spiegel ein und wurde durch eine fünfminütige Übungsfahrt geleitet. Während dieser Fahrt konnte sich der Teilnehmer an das Fahrverhalten des Simulators gewöhnen und das automatisierte Fahrsystem fünfmal aktivieren. Dabei erfolgten zwei fahrerinitiierte Abschaltungen des Systems durch Drücken der orangefarbenen Taste, die

ebenfalls für die Aktivierung verwendet wurde, anschließend erfolgte eine weitere fahrerinitiierte Abschaltung mittels Bremspedal, gefolgt von zwei systeminitiierten Deaktivierungen nach einem TOR. Dabei wurde der Teilnehmer auch über die Auslegung der automatisierten Fahr-funktion informiert und darauf aufmerksam gemacht, dass er die Fahraufgabe jederzeit übernehmen können müsse. Es folgte die Versuchsfahrt. Zwei Drittel der Teilnehmer bekamen gemäß Randomisierungsplan das Angebot, eine der FFTen zu nutzen. Zusätzlich wurde erläutert, dass die jeweilige erreichte Punktzahl (richtige Antworten im Telefonat bzw. aufgelöste Reihen bei Tetris) auf einer Bestenliste vermerkt würden. Der Teilnehmer startete in SAE Level 0 und aktivierte das System, sobald er eine Geschwindigkeit von 130 km/h erreichte. Der Teilnehmer fuhr 13 Minuten, bis er die oben genannte Übernahmesituation (siehe 3.1) erreichte. Der Teilnehmer wurde durch das TOR-Signal gewarnt und musste sofort die Fahraufgabe übernehmen. Einen Kilometer hinter der kritischen Übernahmesituation wurde der Teilnehmer gebeten, das Fahrzeug am Fahrstreifenrand anzuhalten und beantwortete einen Fragebogen. Das Experiment endete mit diesem letzten Fragebogen. Der Ablauf dauerte etwa 45 Minuten pro Teilnehmer.

### 3.4 Stichprobe

An der Studie nahmen  $N = 40$  Probanden teil (52,5 % männlich). Das Alter der Probanden lag zwischen 20 und 71 Jahren ( $M = 43,29$  Jahre,  $SD = 14,64$  Jahre) und die durchschnittliche Jahrestkilometerleistung lag zwischen 7.500 und 50.000 km ( $SD = 11.304,53$  km). 32 % der Teilnehmer nutzen primär ein Fahrzeug mit Automatikgetriebe. Die Ergebnisse der KSS sowie der Sofi Skala unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen EÜ und NEÜ – die Teilnehmer beider Gruppen schätzten sich somit vergleichbar wach ein.

### 3.5 Ergebnis

Die Auswertung der objektiven Fahrsimulationsmessdaten ergab 78,6 % erfolgreiche Übernahmen durch den Fahrer (EÜ) in der Kontrollgruppe (keine FFT), 69,2 % der Gruppe Skype-Telefonat sowie 53,8 % der Gruppe Tetris. Das primäre Resultat der Simulatorstudie sind die 80 Videos von 40 Übernahmesituationen für die nachfolgende Onlinestudie - je zwei Videos aus unterschiedlichen Perspektiven pro Proband, wobei die erste Perspektive den Fahrer von vorne und die zweite sowohl den Innenraum als auch die Fahrsituation zeigt.

## 4. Onlinestudie

Das in der Simulatorstudie erstellte Stimulusmaterial wurde im Rahmen einer anschließenden Onlinestudie Beurteilern gezeigt. Dabei wurde die Übernahmesituation selbst sowie der TOR

in den Videos nicht gezeigt, so dass die Beurteiler nur das Verhalten der Fahrer während der automatisierten Fahrt und nicht deren Orientierungsreaktionen auf den TOR beurteilen konnten. Die Beurteiler wurden anschließend gebeten einzuschätzen, wie gut die Fahrer in den Videos eine Übernahme bewältigen würden, wenn sie plötzlich dazu aufgefordert würden und nach welchen Kriterien die Beurteiler ihre Bewertung vorgenommen hätten. Anschließend wurden die Einschätzungen der Beurteiler mit den tatsächlichen Übernahmleistungen der Fahrer im Fahrsimulator verglichen, um zu bewerten, ob menschliche Beobachter in der Lage sind, die Übernahmefähigkeit vorherzusagen und nutzbare Kriterien für ein Fahrereinschätzungssystem zu liefern.

#### 4.1 Material

*Video-Stimulusmaterial.* Wie in 3.5 beschrieben, wurden von jeder Testperson zwei Videos im Simulator aus unterschiedlichen Perspektiven aufgenommen. Diese zwei Videos wurden durch einen kurzen Lichtblitz zu Beginn der Aufnahme zeitlich synchronisiert und in ein Video zusammengefügt, das die unterschiedlichen Perspektiven zum gleichen Zeitpunkt darstellte (siehe Abb. 1). Anschließend wurden die Aufnahmen der Versuchsfahrt auf die letzten 30 Sekunden vor Auslösung des TOR-Signals gekürzt.



Bild 1: Zusammengefügtes synchronisierte Videoausschnitte aus zwei Perspektiven

*Fragebogen und Design.* Die Onlinebefragung wurde bei SoSci Survey erstellt und auf Servern des ika gehostet. Sie beinhaltete Opt-In Datenschutz- und Vertraulichkeitserklärungen und einen soziodemographischen Einleitungsteil. Anschließend erfolgte der Beurteilungsblock. Hierbei bekam jeder Beurteiler drei zufällig ausgewählte Videos präsentiert. Die Auswahl erfolgte mittels Ziehung ohne Zurücklegen, mit dem Ziel, dass alle zur Verfügung stehenden Videos gleich häufig beurteilt wurden. Insgesamt bestand der Video-Pool aus je zwei Videos pro FFT-Gruppe (keine FFT, Tetris, Skype). Ferner stellte das eine der zwei Videos je FFT-Gruppe die Bedingung EÜ und das andere die Bedingung NEÜ dar. Die Beurteiler wurden instruiert, den Videoausschnitt aufmerksam zu betrachten und anschließend anzugeben, ob der im Video

gezeigte Fahrer in der Lage wäre, die Fahraufgabe mit Ende des Videos sofort wieder sicher zu übernehmen. Zusätzlich erhielten die Beurteiler die Information, dass die Videos beliebig häufig abgespielt werden könnten, auch noch während der Beantwortung der zugehörigen Fragen. Zu den jeweiligen Videos wurden die Beurteiler, neben der Frage ob eine sofortige sichere Übernahme möglich wäre, gefragt, wie sicher sie sich hinsichtlich ihrer Einschätzung waren (1: sehr unsicher - 5: sehr sicher) und welche Kriterien sie zur Beurteilung genutzt hätten. Abschließend gaben die Beurteiler an, ob der Fahrer die für die Übernahme relevanten Informationen gesehen und auch, ob er diese verstanden hat.

#### 4.3 Vorgehen

Vor der Freigabe der Onlinestudie wurde ein Vortest durchgeführt, mit dem Ziel die Verständlichkeit der Fragen als auch mögliche Fehler aufzudecken. Im Anschluss wurde der Link zur Onlinebefragung über ein Recruiting-Unternehmen verteilt. Dabei wurde eine Stichprobe von  $N = 80$  Personen beauftragt mit möglichst ausgewogener Geschlechterverteilung sowie eine normalverteilte Stichprobe hinsichtlich Alter und jährlicher Kilometerleistung. Die Beurteiler mussten mindestens 20 Jahre alt sein, im Besitz eines Führerscheins und mindestens vier Mal im Monat als Beifahrer in einem PKW fahren. Die eigentliche Onlinebefragung lief über einen Zeitraum von zweieinhalb Wochen und die Bearbeitungszeit lag bei rund 25 Minuten.

#### 4.4 Stichprobe

An der Studie nahmen  $N = 80$  Beurteiler teil ( $n = 33$  weiblich,  $n = 47$  männlich). Das Alter der Teilnehmer war über die Kategorien von 20-28 Jahren ( $n = 10$ ), 29-38 Jahren ( $n = 20$ ), 39-48 Jahren ( $n = 20$ ), 49-58 Jahren ( $n = 20$ ) und über 59 Jahren ( $n = 10$ ) normal verteilt.

#### 4.5 Ergebnis

Auf die Frage, wie sicher sich die Beurteiler ( $N = 80$ ) mit ihrer Bewertung seien, antworteten bei der Bedingung Tetris  $n = 73$ , in der Bedingung Quiz  $n = 79$  und in der Bedingung ohne FFT  $n = 78$  Teilnehmer mit sicher oder sehr sicher. Die Einschätzungen, welche Fahrer die sichere sofortige Übernahme schaffen würden, sind in Bild 2 dargestellt. Dabei sind zunächst die drei Gruppen, FFT Tetris, FFT Skype-Telefonat sowie keine FFT dargestellt. Für jede der drei Video-Gruppen sind des Weiteren die Einschätzungen der Beurteiler dargestellt. Die ersten zwei Balken von links beziehen sich hierbei immer auf die Einschätzung der Beurteiler, der Fahrer hätte die Übernahme erfolgreich geschafft (Zuordnung zur Gruppe EU) und der dritte und vierte Balken auf die Einschätzung, der Fahrer hätte die Übernahme nicht geschafft (Zuordnung zur Gruppe NEU). Der jeweils erste und dritte Balken repräsentiert immer eine korrekte

Zuordnung durch den Beurteiler, der zweite und vierte Balken symbolisiert die falschen Zuordnungen.

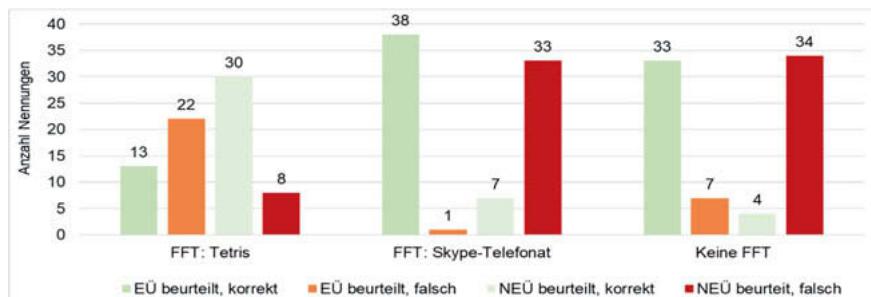


Bild 2: Vergleich der Beurteilungen (EÜ: erfolgreiche Übernahme; NEÜ: nicht-erfolgreiche Übernahme)

Bei den Videos mit FFT-Tetris wurden 13 EÜ-Videos korrekt zugeordnet, 22 EÜ-Videos jedoch fälschlich als NEÜ klassifiziert. Bei den NEÜ-Tetris-Videos wurden 30 Videos korrekt NEÜ zugeordnet, 8 Videos jedoch falsch als EÜ klassifiziert. Das entspricht einer Hit-Rate (HIT) (NEÜ korrekt vorhergesagt) von 0.789, einer false alarm rate (FA) (EÜ fälschlich als NEÜ vorhergesagt) von 0.629 ( $d' = 0.477$ ,  $\chi^2 = 2.302$ ,  $df = 1$ ,  $p = .129$ ). In der Gruppe Skype-Telefonat schätzen die Beurteiler fast immer, dass die Videos der Gruppe EÜ zuzuordnen seien, unabhängig davon, ob die Übernahme tatsächlich gelang. So wurden 38 EÜ-Videos korrekt der Gruppe EÜ zugeordnet und nur 1 EÜ-Video der Gruppe NEÜ zugeordnet, also falsch bewertet. Umgekehrt wurden 33 NEÜ-Videos fälschlich EÜ zugeordnet und nur sieben Videos korrekt der Gruppe NEÜ zugeordnet (HIT = 0.175, FA = 0.026,  $d' = 1.015$ ,  $\chi^2 = 4.840$ ,  $df = 1$ ,  $p = .028$ ). Eine ähnliche Verteilung zeigt sich auch bei den Videos ohne FFT. Hier wurden 33 EÜ-Videos korrekt der Gruppe EÜ zugeordnet und 7 EÜ-Video fälschlich der Gruppe NEÜ zugeordnet. Auf der anderen Seite wurden 34 NEÜ-Videos fälschlich EÜ zugeordnet und nur vier Videos korrekt der Gruppe NEÜ zugeordnet (HIT = 0.105, FA = 0.175,  $d' = -0.318$ ,  $\chi^2 = 0.782$ ,  $df = 1$ ,  $p = .376$ ). Neben diesen Einschätzungen wurden des Weiteren auch noch die die genannten Bewertungskriterien ausgewertet.

## 5. Diskussion

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass die Beurteiler nicht in der Lage waren, die tatsächliche Übernahmequalität nur basierend auf den gegebenen Videoausschnitten vorherzusagen. Bei genauerer Betrachtung der Einschätzungen fällt auf, dass die Beurteiler vor allem darauf achteten, ob die Fahrer den Blick größtenteils von der Straße abgewandt hatten oder nicht (siehe Abb. 3). Dieses naheliegende Vorgehen zeigt unter Berücksichtigung der FFT-Bedingungen jedoch seine Schwächen: So wurden Videos der Bedingung Tetris zumeist mit einer nicht erfolgreichen Übernahme assoziiert, da die Fahrer einen Großteil der Videodauer ihren Blick auf dem Tablet hatten. Wenn man nun die Bewertungen der Gruppe EÜ bei FFT-Tetris betrachtet, zeigt sich, dass diese daher größtenteils falsch klassifiziert wurden. Noch sehr viel deutlich sind die Ergebnisse jedoch in den Gruppen FFT Skype-Call und Keine FFT: Hier sind nur 8 von 79 bzw. 11 von 78 Einschätzungen zu dem Schluss gekommen, dass eine NEÜ folgte. An Bild 1 lässt sich dieses Phänomen gut erklären: Diese Situation eines mental anstrengenden Telefonats offenbart die Schwierigkeit, eine treffende Vorhersage geben zu können: Der Blick auf die Straße suggeriert eine hohe Involviering in die Fahraufgabe, der Fahrer ist aber in Wirklichkeit völlig abgelenkt und grübelt recht deutlich über die Antworten. Auch eine gesonderte Betrachtung, ob vielleicht einzelne Beurteiler zu besonders treffenden Beurteilungen anhand anderer Kriterien in der Lage waren, stellte sich, nach einer erneuten individuellen Betrachtung der einzelnen Beantwortungen der Beurteiler, als erfolglos heraus. Ferner unterschieden sich auch die genannten Einschätzungskriterien zur Vorhersage der Übernahmequalität nicht zwischen den korrekten und fehlerhaften Beurteilungen, so dass keine trennscharfen Kriterien gefunden werden konnten. Um eine Erklärung für die Ergebnisse zu identifizieren, wurde daraufhin die Hypothese aufgestellt, ob die Beurteiler vielleicht nicht zur Vorhersage in der Lage waren, da sie dies, anders als Fahrlehrer, eher selten müssen. Hierzu wurden zusätzliche Interviews mit Fahrlehrern ( $N = 5$ ) durchgeführt, die allerdings ebenfalls keine sicheren Vorhersagen treffen konnten und vergleichbare Ergebnisse zeigten. Dies könnte dadurch zu erklären sein, dass Fahrlehrer zwar gelernt haben Fahrer zu bewerten, aber nicht deren Übernahmebereitschaft einzuschätzen. Hier wäre zu prüfen ob Personen diese Vorhersagefähigkeit durch eine vorgelagerte Lernphase trainieren können. Dazu könnten die Beurteiler vor der eigentlichen Bewertungsphase mehrere Videos gezeigt bekommen, die nicht vor der Übernahme geschnitten sind. Das in dieser Studie verwendete Vorgehen, die menschliche, untrainierte Beobachtungsgabe als Vorhersage für eine Übernahmefähigkeit zu nutzen, hat sich zumindest unter den hier gegebenen Bedingungen als nicht erfolgreich erwiesen. Es bleibt allerdings weiterhin offen, ob bei einer anderen Auswahl der FFTen oder einer

anders gearteten Übernahmesituation dieses Vorgehen einen Zusatznutzen bringen könnte. Neben zukünftigen Studien, diese Vorhersagekriterien zu identifizieren, sollten daher auch andere Ansätze verfolgt werden: So könnte sich beispielsweise eine nicht-erfolgreiche Übernahme bereits sehr frühzeitig durch die Orientierungsreaktion des Fahrers auf einen TOR erkennen lassen. Dies würde vielfältige frühzeitige Eingriffsmöglichkeiten wie z.B. die Einleitung eines sicheren Zustands oder eine Transition in eine höhere Automatisierungsstufe ermöglichen [11].

## 6. Literatur

- [1] SAE International, (2018). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. Warrendale: SAE International.
- [2] Flemisch, F.; Schieben, A.; Temme, G.; Rauch, N.; Heesen, M.: HAVEit Public Deliverable D33.2 „Preliminary concept on optimum task repartition for HAVEit systems“; Brussels, 2009
- [3] Rauch, N., Kaussner, A., Krüger, H.-P., Boverie, S. & Flemisch, F. (2009). *The importance of driver state assessment within highly automated vehicles*. Paper presented at the 16th ITS World Congress, Stockholm, Sweden, 21.-25. September 2009.
- [4] Feldhütter, A., Segler, C., & Bengler, K. (2017). Does Shifting Between Conditionally and Partially Automated Driving Lead to a Loss of Mode Awareness?. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 730-741). Springer, Cham.
- [5] Herzberger, N.D., Voß, G.M.I., Becker, F.K., Grazioli, F., Altendorf, E., Canpolat, Y., Flemisch, F.O. & Schwalm, M. (2018). Derivation of a model of safety critical transitions between driver and vehicle in automated driving. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 421-433). Springer, Cham.
- [6] Domes, G., Kumbier, E., Herpertz-Dahlmann, B., & Herpertz, S. C. (2008). Autismus und soziale Kognition. *Der Nervenarzt*, 79(3), 261-274.
- [7] Flemisch, F. O., Schwalm, M., Meyer, R., Altendorf, E., Lennartz, T., Schreck, C., Bavendiek J. & Herzberger, N. D. (2019). Human System Integration at System Limits and System Failure of Cooperatively Interacting Automobiles: Concept and First Results. *IFAC-PapersOnLine*, 52(8), 93-98.
- [8] FGSV Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV. (2008). *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA)*. Köln: FGSV Verlag GmbH.
- [9] Niederl, T. (2007). Untersuchungen zu kumulativen psychischen und physiologischen Effekten des fliegenden Personals auf der Kurzstrecke. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.
- [10] Jilg, M. (2004). Das Inventar Bevorzugter Tätigkeiten (IBT)-Erfassung freizeitbezogener Belastungswirkungen mit skalometrisch beschriebenen Freizeittätigkeiten.
- [11] Herzberger, N.D., Eckstein, L. & Schwalm, M. (2018). Detection of Missing Takeover Capability by the Orientation Reaction to a Takeover Request. 27. Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology, Aachen, 1231-1240.



# Innenraumbeobachtung für die kooperative Übergabe zwischen hochautomatisierten Fahrzeugen und Fahrer

Dipl.-Inform. **Manuel Martin**, Dr.-Ing. **Michael Voit**,  
Fraunhofer IOSB, Karlsruhe;  
**Julian Ludwig** M.Sc., **Alina Roitberg** M.Sc.,  
Dr.-Ing. **Michael Flad**, Prof. Dr.-Ing. **Sören Hohmann**,  
Prof. Dr.-Ing. **Rainer Stiefelhagen**,  
Karlsruhe Institut für Technologie

## 1.1 Kurzfassung

In Zukunft werden Fahrer automatisierter Fahrzeuge noch kurzfristig oder an Systemgrenzen von Zeit zu Zeit die Fahraufgabe übernehmen müssen. Studien zeigen jedoch, dass die Übernahmefähigkeit des Fahrers unter anderem von seiner letzten Aktivität abhängt. Um eine sichere Übergabe zu gewährleisten muss das Fahrzeug deshalb wissen in wie weit der Fahrer überhaupt in der Lage ist das Steuer zu übernehmen und wie lange diese Übernahme voraussichtlich dauern wird. Wir schlagen daher ein System vor, das mit Hilfe maschineller Lernverfahren den Fahrer kamerabasiert beobachtet, um so die Innenraumsituation zu beurteilen. Wir stellen sowohl den öffentlichen Datensatz verschiedener Nebentätigkeiten vor<sup>1</sup>, der für die Entwicklung des Systems im Fahrsimulator aufgezeichnet wurde, als auch das Verfahren zur Nebentätigkeitserkennung. Abschließend zeigen wir, wie auf dieser Basis ein kooperativer Kontrolltransfer umgesetzt werden kann.

## 2 Einleitung

Die Verbesserung der Verkehrssicherheit und des Fahrgastkomforts sind die beiden Hauptgründe für automatisiertes Fahren. Bis die Automation jedoch jede mögliche Situation bewältigen kann (SAE Level 5), dient der menschliche Fahrer als Rückfallebene und muss bei Erreichen einer Systemgrenze die Fahraufgabe rechtzeitig übernehmen. Diese Übernahmeauflorderung (TOR) kann aufgrund einer unsicheren Situation auftreten, die die Automatisierung nicht bewältigen kann (SAE Level 3) oder am Ende der Operationsdomäne (SAE Level 4)[1]. Die Bestimmung der Zeitspanne, die ein Fahrer für die Übernahme aus einem hochautomatisierten Fahrmodus braucht, ist Teil aktueller Untersuchungen. Darüber hinaus wird im Rahmen dieser Studien der Einfluss verschiedener Faktoren untersucht. Neben Umweltfaktoren wie

---

<sup>1</sup> [www.driveandact.com](http://www.driveandact.com)

der Komplexität [2] oder der Kritikalität [3] der Verkehrssituation zum Zeitpunkt des TOR ist der Zustand des Fahrers ein wichtiger Parameter für den Übernahmeprozess. Im Gegensatz zu SAE Level 2 und darunter ist der Fahrer bei höheren Automationslevels nicht mehr verpflichtet die Fahraufgabe zu überwachen. Stattdessen kann er anderen Tätigkeiten nachgehen, was dazu führt, dass die Fahrfähigkeit nach einem TOR stark variieren kann.

Die Auswirkung fahrfremder Tätigkeiten auf verschiedene Phasen des Übernahmeprozesses wurde bereits in mehreren Studien untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Reaktionszeit für eine erste Fahraktion nach einem TOR mit steigender Belastung signifikant verlängert [4], [5]. Weitere Studien zeigen, dass Fahrer, die durch Nebentätigkeiten abgelenkt waren, in den ersten Sekunden nach der Übernahme mehr Fahrfehler machen [2] und unsicherer Fahren [3]. Bei der Analyse eines längeren Zeitraums nach der Übergabe wurde auch festgestellt, dass erst nach 40 Sekunden eine Normalisierung des Fahrverhaltens im Vergleich zu nicht abgelenkten Fahrern eintritt [6].

Die vorgestellten Studien zeigen zwei Effekte: Erstens, der Zustand des Fahrers und seine Tätigkeit vor einer Übernahme haben einen großen Einfluss auf die Übernahmezeit. Zweitens, der Fahrer macht nach der Übernahme aus der Automatisierung mehr Fahrfehler. Das hier vorgestellte System versucht diese Schwierigkeiten mit zwei Ansätzen zu lösen. Zum einen wird der Fahrerzustand kamerabasiert erfasst, um für die Übergabe ausreichend Zeit einzuplanen zu können, zum anderen wird der Fahrer auch während der Übergabe durch eine kooperative Regelung unterstützt um Fahrfehler in der Anfangsphase der Übergabe zu korrigieren. Die Entwicklung und Umsetzung dieses Ansatzes erfolgt im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekts PAKoS („personalisierte adaptive kooperative Systeme für automatisierte Fahrzeuge“). Dieser Beitrag stellt die Innenraumerfassung und einen Überblick über das Gesamtkonzept vor. Details zur Innenraumerfassung [7], [8] bzw. zum Gesamtsystem [9] sind in weiteren Veröffentlichungen zu finden.

Im Folgenden wird der Stand der Technik der kamerabasierten Fahrerbeobachtung beschrieben und anschließend der im Projekt gesammelte Datensatz und die Verfahren zur Fahrerbeobachtung vorgestellt. Abschließend wird erläutert wie die Ergebnisse in ein Konzept für eine kooperative Übergaberegelung integriert werden können.

### 3 Stand der Technik

Ziel vieler optischer Fahrerbeobachtungssysteme ist es, zu erkennen, was der Fahrer tut. Dies kann jedoch auf unterschiedliche Weise und mit unterschiedlicher Granularität erreicht werden. Viele Ansätze konzentrieren sich auf die Beobachtung des Fahrerkopfes. Kopf- und Augenbewegungsmuster können beispielsweise verwendet werden, um zwischen einem aufmerksamen Fahrer und einem abgelenkten Fahrer zu unterscheiden[10]–[12]. Für eine detailliertere Analyse der visuellen Aufmerksamkeit können Blickmessgeräte verwendet werden. Beispielsweise kann der Blickstrahl mit der Szene geschnitten werden, um herauszufinden, wohin der Fahrer schaut [13]. Basierend auf einem solchen System kann bestimmt werden, ob der Fahrers auf die Straße schaut oder ob er etwas im Fahrzeuginnenraum betrachtet [14]. Für viele Nebentätigkeiten sind allerdings auch die Hände von großer Bedeutung. Blickmessung allein liefert deshalb in diesen Fällen kein ausreichendes Ergebnis. Zusätzlich können deshalb über eine Kamera die einen größeren Teil der Fahrzeugkabine erfasst auch die Hände erfasst werden [15]. So kann beispielsweise bestimmt werden, ob sich beide Hände am Lenkrad befinden oder ob sich eine Hand am Schalthebel oder am Infotainmentbereich befindet [16]–[18].

Nebentätigkeiten, insbesondere bei automatisierter Fahrt, können allerdings deutlich komplexer sein als Interaktionen mit eingebauten Steuerelementen. Die Nutzung des Smartphones ist bereits heute weit verbreitet, auch wenn sie nicht erlaubt ist. Bis jetzt gibt es wenige Verfahren die solche komplexen Nebentätigkeiten im Fahrzeug bestimmen. Diese Anwendung ähnelt allerdings stark klassischer Aktivitätserkennung, die schon sehr lange Teil aktiver Forschung ist. Hierfür werden häufig Verfahren für die Verwendung mit Bildsequenzen erweitert die ursprünglich für die Auswertung von Einzelbildern entworfen wurden. Dafür gibt es verschiedene Ansätze. Es können die Ergebnisse, die auf Einzelbildern mit Hilfe von 2D Convolutional Neuronal Networks (CNNs) bestimmt werden, gemittelt werden [19] oder besser mit Rekurrenten Neuronalen Netzen fusioniert werden [20], [21]. Es können aber auch 3D CNNs verwendet werden die direkt eine Videosequenz verarbeiten können [22]–[24]. Alternativ kann statt direkt Bilder zu verwenden auch eine Zwischenrepräsentation in Form des Körperskeletts und dessen Bewegung über die Zeit genutzt werden. Auch hier gibt es verschiedene Ansätze die zeitlichen und strukturellen Zusammenhänge einer Abfolge von Körperskeletten auszuwerten. Dabei bietet es sich an Gelenkhierarchien [25] oder Kinematische Modelle [26] mit rekurrenten neuronalen Netzen [7], [27] oder Graph Netzen [28] auszuwerten.

Verfahren zur Erkennung von Nebentätigkeiten im Fahrzeug sind ähnlich aufgebaut [7], [29] verwenden häufig aber simpleres Ansätze [30]–[32] und erkennen eine deutlich geringere An-

zahl an Aktivitäten. Im Gegensatz zur allgemeinen Aktivitätserkennung werden oft andere Kameras wie Nahinfrarot oder Tiefensensoren eingesetzt, um bessere Robustheit gegenüber variabler Beleuchtung zu erreichen. Ein Hauptproblem in der Entwicklung von Verfahren zur Erkennung von Nebentätigkeiten ist der Mangel an passenden Datensätzen. Während es für allgemeine Aktivitätserkennung sowohl einen Datensatz mit Farbbildern mit 400 Klassen und vielen Millionen Bildern gibt [24] als auch einen Datensatz mit Körperposen und 60 Aktivitätsklassen[25], sind verfügbare Datensätze für Nebentätigkeiten im Fahrzeug mit maximal 10 Klassen und weniger als 30000 Bildern deutlich kleiner [31], [33].

Aus diesem Grund wurde im Projekt Pakos der Datensatz „Drive&Act“ [8] für die Erfassung von Nebentätigkeiten gesammelt der im Umfang vergleichbar zu den Datensätzen für allgemeine Aktivitätserkennung ist. Hierbei wurde durch die Verwendung von Nahinfrarot, Tiefen und Farbkameras auf ein vielfältiges aber auch realistischen Sensorsetup geachtet. Insgesamt beinhaltet der Datensatz mehr als 9 Millionen Videobilder und wurde mit einer Hierarchie aus insgesamt 83 Klassen manuell annotiert.

#### 4 Datensatz für die Aktivitätsschätzung

Selbst mit Prototypenfahrzeugen für automatisiertes Fahren ist es nicht sicher, stark ablenkende Nebentätigkeiten im Straßenverkehr oder auf einer Teststrecke durchzuführen. Der Fahrer ist verpflichtet, das Fahrzeug zu überwachen und würde sich selbst und andere Verkehrsteilnehmer in Gefahr bringen.

Deshalb fand die Sammlung von Daten für die Nebentätigkeitserkennung im statischen Fahrsimulator des Fraunhofer IOSB statt. Der Fahrsimulator ist mit einem umgebauten Audi A3 ausgestattet und bietet somit einen realistischen Fahrzeuginsenraum. Zur Darstellung des simulierten Umfelds dienen eine polygonale Leinwand vor dem Fahrzeug und mehrere weitere Displays. Als Simulationssoftware kommt SILAB von WIVW zum Einsatz. Es können sowohl manuelles und automatisiertes Fahren, als auch Übernahmen simuliert werden.

Um ein abwechslungsreiches Verhalten zu erzielen, wurden die Probanden nur mit abstrakten Aufgaben instruiert. Der genaue Ablauf ergab sich hieraus auf natürliche Art und Weise. Insgesamt gab es 12 Aufgaben die auf einem Touchscreen in der Fahrzeugmitte angezeigt wurden. Die erste Aufgabe bestand darin, in das Fahrzeug einzusteigen, Einstellungen vorzunehmen, mit dem manuellen Fahren zu beginnen und nach einigen Minuten in den automatisierten Modus zu wechseln. Alle folgenden Anweisungen (z.B. Die aktuelle Wettervorhersage mit dem Laptop nachschlagen und per SMS melden), wurden in zufälliger Reihenfolge durchgeführt.

Fünfzehn Personen (4 weiblich, 11 männlich) nahmen an der Datenerhebung teil. Es wurden Teilnehmer mit unterschiedlichen Körpergrößen und -gewicht sowie unterschiedlichen Fahrstilen und Kenntnissen von Assistenzsystemen und Automatisierungsgraden ausgewählt.

Alle Teilnehmer wurden zweimal aufgezeichnet, was zu 30 Sequenzen mit einer durchschnittlichen Dauer von 24 Minuten führte. Die meisten Teilnehmer nahmen sich während der zweiten Sitzung weniger Zeit, da sie mit den Aufgaben vertraut waren, was zu einem insgesamt anderen Verhalten und mehr Varianz im Datensatz führte.

Für die Aufzeichnung der Probanden kam ein komplexes Kamerasystem zum Einsatz. Insgesamt wurden 6 Kameras in der Fahrzeugkabine verteilt und vollständig eingemessen. An 5 Positionen wurden Nahinfrarotkameras mit Aktivbeleuchtung verbaut, um den vorderen Teil der Fahrzeugkabine möglichst gut abzudecken. Zusätzlich wurde auch eine Microsoft Kinect for Xbox One verwendet, um auch Tiefenbilder und Farbbilder aufzuzeichnen. Die Sensorik wurde so ausgelegt, dass sie auch bei realistischen Fahrbedingungen bei Tageslicht sowie bei Nacht in einem Prototypenfahrzeug funktioniert.

Die aufgezeichneten Daten wurden feingranular mit einer Hierarchie von Aktivitäten manuell annotiert. Als erstes Hierarchielevel dienen die instruierten komplexen Aufgaben. Das zweite Hierarchielevel zerlegt diese Aufgaben in semantisch abgeschlossene Aktivitäten und das dritte Hierarchielevel abstrahiert diese Aktivitäten weiter in allgemeine Interaktionen mit der Umgebung. Diese werden als Triplet aus Aktivität, Ort und Objekt abgebildet. Die vollständige Hierarchie ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Annotationshierarchie der Datensatzes zur Aktivitätserfassung

<b>Level 1: Instruierte Aufgaben (Anzahl: 12)</b>
Essen/Trinken, Fahrvorbereitung, Fahrzeug parken und aussteigen, Übernahme aus automatisierter Fahrt, Jacke anziehen, Sonnenbrille aufsetzen, Magazin lesen, Zeitung lesen, Jacke ausziehen, Sonnenbrille absetzen, Video schauen, Laptop arbeiten
<b>Level 2: Feingranulare Aktivitäten (Anzahl: 34)</b>
<b>Objektmanipulationen:</b> Laptop aus Rucksack nehmen, Laptop in Rucksack verstauen, Rucksack öffnen, Laptop öffnen, Laptop schließen, Objekt verstauen, Objekt holen
<b>Fahrvorbereitung:</b> Tür von außen schließen, Tür von innen schließen, Tür von außen öffnen, Tür von innen öffnen, Fahrzeug betreten, Fahrzeug verlassen
<b>Essen/Trinken:</b> Essen vorbereiten, Flasche schließen, Flasche öffnen, trinken, essen
<b>Kleidung:</b> Sonnenbrille aufsetzen, Sonnenbrille absetzen, Jacke anziehen, Jacke ausziehen
<b>Bewegung:</b> Etwas suchen, stillsitzen

<b>Bedienung integrierter Geräte:</b> Automation aktivieren, Multimedia Display bedienen
<b>Arbeiten:</b> Auf Papier schreiben, Am Laptop arbeiten
<b>Unterhaltung:</b> Telefonieren, Smartphone bedienen, Zeitung lesen, Zeitschrift lesen
Level 3: Atomare Aktivitäten (Triplets aus Aktivität, Ort und Objekt)
<b>Aktivitäten (Anzahl: 5):</b> öffnen, schließen, etwas ablegen, nach etwas greifen, von etwas zurückziehen, interagieren
<b>Orte (Anzahl: 14):</b> Hosentasche, Beifahrertür, Rücksitz links, Fahrertür, Rücksitz rechts, Mittelkonsole vorn, Beifahrer Fußraum, Mittekonsole hinten, Kopf, Schoß, Lenkrad, Beifahrersitz, vor dem Fahrer, kein Ort
<b>Objekte (Anzahl: 17):</b> Brillenetui, Stift, Schalthebel, Rucksack, Sonnenbrille, Gurt, Jacke, Automationstaste, Schreibblock, Flasche, Laptop, Zeitung, Magazin, Multimedia Display, Smartphone, Essen, kein Objekt

## 5 Verfahren zur Aktivitätsschätzung

Wie im Stand der Technik beschrieben gibt es unterschiedliche Ansätze Aktivitäten mit maschinellen Lernverfahren zu bestimmen. Häufig werden direkt die Kamerabilder als Eingabe neuronaler Netze genutzt um auf Aktivitäten zu schließen. Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass das neuronale Netz selbst lernen kann welche Merkmale für die Erkennung am besten geeignet sind. Nachteil dieser Verfahren ist allerdings der Black Box Charakter der Modelle, der es erschwert Rückschlüsse im Fehlerfall zu ziehen. Das Weiteren sind diese Verfahren auch stark abhängig von der verwendeten Kamera und dem Blickwinkel. Werden diese Parameter geändert ist im schlimmsten Fall das erneute Sammeln von Trainingsdaten notwendig. Alternativ kann eine Aktivitätserkennung auch auf einer abstrakteren Zwischenrepräsentation durchgeführt werden. Dieses Vorgehen entkoppelt die Aktivitätserkennung weitgehend von der verwendeten Kamera und erlaubt eine einfachere Interpretation im Fehlerfall. Der Nachteil dieses Vorgehens ist der Informationsverlust, da nicht alle im Kamerabild enthaltenen Informationen abgebildet werden. Im Folgenden wird der Ansatz über eine Zwischenrepräsentation weiterverfolgt.

Ziel einer Zwischenrepräsentation für die Aktivitätsschätzung ist der Erhalt aller notwendigen Information aus den Kamerabildern bei gleichzeitig möglichst geringer Abhängigkeit zu den Parametern des Sensorsystems. Es bietet sich deshalb an eine 3D Repräsentation zu nutzen. Diese muss zumindest die Bewegungen des Fahrers abbilden. Eine mögliche Repräsentation

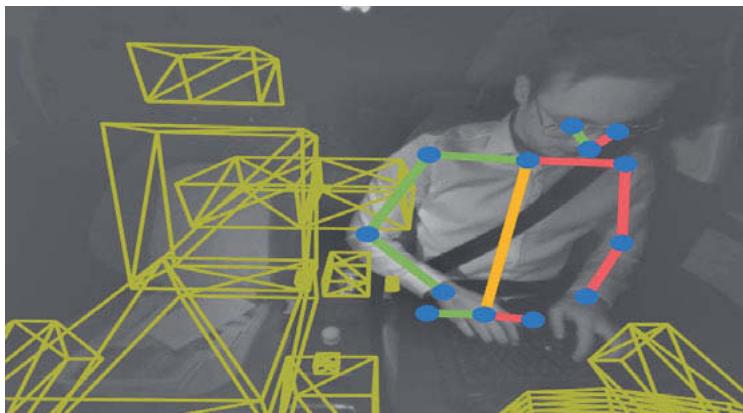


Bild 1: Zwischenrepräsentation zur Aktivitätsschätzung mit Skelett und Innenraumelementen.

der Bewegungen ist das 3D Oberkörperskelett des Fahrers und dessen Bewegung über die Zeit. Um dieses Skelett zu bestimmen wird das Verfahren OpenPose [34] genutzt. Es verwendet ein neuronales Netz, um aus Kamerabildern die 2D Koordinaten der einzelnen Gelenkpunkte zu bestimmen. Dieses Verfahren wird auf die Kameras des Datensatzes angewandt und die damit bestimmten 2D Gelenkpunkte mit Hilfe der intrinsischen und extrinsischen Parameter des Kamerasytems zum 3D Skelett des Fahrers trianguliert. Auf Basis dieser abstrahierten Darstellung kann bereits eine Aktivitätserkennung durchgeführt werden. Da der Fahrzeuginnenraum aber eine sehr statische Umgebung darstellt, können weitere 3D Informationen die die Umgebung des Fahrers beschreiben mit in das Modell aufgenommen werden. Hierfür werden einzelne Elemente des Fahrzeuginnenraums, wie zum Beispiel das Lenkrad oder der Beifahrersitz, als Zylinder und Würfel im 3D-Raum dargestellt. Durch diesen Kontext soll das Verfahren zum Beispiel lernen können, dass Nebentätigkeiten, die die Hände involvieren nicht möglich sind, wenn beide Hände bereits am Lenkrad sind. Bild 1 zeigt die verwendete Zwischenrepräsentation zu einem Zeitpunkt.

Zur Auswertung der Zwischenrepräsentation werden rekurrente neuronale Netze verwendet die mit unterschiedlichem Fokus die Veränderung der Repräsentation analysieren. Insgesamt finden drei getrennte Auswertungen statt die am Ende fusioniert werden:

**Zeitliche Auswertung:** Es werden alle Gelenkknoten des Skeletts in einem Vektor zusammengefügt und diese Repräsentation als Eingabe für das neuronale Netz in jedem Zeitschritt genutzt. Hierdurch kann das Netz temporale Zusammenhänge zwischen Gelenken lernen.

**Räumliche Auswertung:** Das Skelett wird mit Hilfe einer Tiefensuche in eine Sequenz von Gelenkknoten transformiert und diese als Eingabe eines neuronalen Netzes verwendet. Diese Repräsentation ist geeignet um den räumlichen Zusammenhang benachbarter Gelenke zu analysieren.

**Auswertung des Kontexts:** Diese Auswertung fokussiert auf die Interaktion des Skeletts des Fahrers mit der durch Primitive Abgebildeten Umgebung. Als Eingabe des Netzes dient in jedem Zeitschritt ein Vektor aus den Abständen aller Innenraumprimitive zu den Händen und dem Kopf des Fahrers.

Alle drei Auswertungen verwenden jeweils ein rekurrentes Netz mit zwei Long Short-Term Memory Units gefolgt von einem Fully Connected Layer mit Softmax Aktivierung. Zur Fusion der Netze wird ein gewichteter Mittelwert verwendet. Die Fusion der zeitlichen und räumlichen Auswertung wurde von Wang et. al. untersucht [26] und von Martin et. al. um den Kontext erweitert [7].

## 6 Evaluation

Für das Training und die Evaluation des vorgestellten Verfahrens wird der in Kapitel 4 beschriebene Datensatz verwendet. Die Annotationen werden hierfür in Segmente von 3 Sekunden unterteilt die dann sowohl für das Training als auch für das Testen verwendet werden. Für die Evaluation wird die durchschnittliche Genauigkeit pro Klasse (Mean Average Precision) verwendet. Hierfür wird die Top 1 Erkennungsrate für jede Kategorie bestimmt und dann gemittelt. Als Baseline wird für jede Evaluation auch die Genauigkeit eines Algorithmus angegeben der das Ergebnis zufällig wählt. Dieser Wert ist für jedes Annotationslevel unterschiedlich und liegt zwischen 0,31 und 16,67%.

Es wird für jede Hierarchieebene der Annotation ein neues Modell trainiert und evaluiert: 12 Instruierte Aufgaben (Level 1), 34 Feingranulare Aktivitäten (Level 2) und Atomare Aktivitäten mit 372 möglichen Kombinationen der [Aktion, Objekt, Ort] Triplets (Level 3). Da die Anzahl der Triplet-Kombinationen sehr hoch ist, werden auch getrennt die Ergebnisse für korrekt klassifizierte Aktivitäten, Objekte und Orte (6, 17 bzw. 14 Klassen) bestimmt.

Tabelle 2, Tabelle 3 und Tabelle 4 zeigen die Ergebnisse des Verfahrens auf den jeweiligen Annotationslevels. Es ist gut zu erkennen, dass die Kombination der einzelnen Auswertungen die Ergebnisse aller Level deutlich verbessert. Im Vergleich zu den kurzen Aktivitäten in Level 2 funktioniert die Schätzung der abstrakteren und längeren Aktivitäten der instruierten Aufgaben in Level 1 schlechter. Der Grund hierfür ist vermutlich der relativ kurze Zeithorizont von 3 Sekunden der für die Auswertung genutzt wird. Die Schätzung ganzer Triplets atomarer Ak-

tivitäten (Level 3) funktioniert noch sehr schlecht, was aber auch an der großen Anzahl möglicher Kombination liegt. Die getrennte Schätzung von Aktivität, Objekt und Ort zeigt deutlich bessere Ergebnisse. Besonders hervorzuheben ist hier die gute Schätzung des Ortes der durch die Auswertung des Kontexts direkt modelliert wurde. Die Schätzung von Objekten funktioniert hingegen sehr schlecht. Diese sind allerdings auch gar nicht modelliert und können daher nur durch Korrelation mit den anderen Merkmalen bestimmt werden.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass noch großes Potential für Verbesserung besteht, sowohl in Bezug auf eine Vervollständigung des Zwischenmodells, zum Beispiel durch die Erfassung der Objekte, als auch in Bezug auf Verbesserungen der Auswertealgorithmen.

Tabelle 2: Ergebnisse der Schätzung der instruierten Aufgaben (Level 1)

Modell	Validation	Test
Zufall	8,33	8,33
Kontext	35,76	29,75
Pose	37,18	32,96
Pose + Räumlich	39,37	34,81
Pose + Räumlich + Kontext	41,70	35,45

Tabelle 3: Ergebnisse der Schätzung feingranularer Aktivitäten (Level 2)

Modell	Validation	Test
Zufall	2,94	2,94
Kontext	45,23	40,30
Pose	53,17	44,36
Pose + Räumlich	53,76	45,39
Pose + Räumlich + Konext	53,67	46,95

Tabelle 4: Ergebnisse der Schätzung atomare Aktivitäten (Level 3)

Modell	Aktivität		Objekt		Ort		Gesamt	
	Val	Test	Val	Test	Val	Test	Val	Test
Zufall	16,67	16,67	5,88	5,88	7,14	7,14	0,39	0,31
Pose	57,62	47,74	51,45	41,72	53,31	52,64	9,18	7,07
Kontext	54,23	49,03	49,90	40,73	53,76	53,33	8,76	6,85
Pose + Räumlich	57,86	48,83	52,72	42,79	53,99	54,73	10,31	7,11
Pose + Räumlich + Kontext	59,29	50,65	55,59	45,25	59,54	56,5	11,57	8,09

## 7 Einbindung in das kooperative Regelkonzept

Wie in der Einleitung beschrieben, wird im Projekt PAKoS die Idee verfolgt den Fahrer nach einer Übergabeaufforderung graduell an die Fahraufgabe heranzuführen um potenzielle Fahrfehler, nach einer unerwarteten Übernahme zu reduzieren bzw. gänzlich zu verhindern. Hierfür wird das Konzept der „Haptic Shared Control“ genutzt, bei dem sich Mensch und Maschine ein Stellglied teilen und über Kräfte bzw. Momente an diesem sowohl das System steuern, als auch wechselseitig ihre Intentionen kommunizieren. Eine Zusammenfassung über die Vorteile, wie reduzierte Arbeitsbelastung und schnellere Reaktionen des menschlichen Partners, sowie die vielfältigen Anwendungen des Konzepts gibt [35].

Für die Umsetzung des Konzepts wurde die Modellierung der Interaktion zwischen Mensch und Automation mit Hilfe eines Differentialspiels gewählt, für die bereits mehrere erfolgversprechende Umsetzungen im Rahmen einer dauerhaften Fahrerassistenzfunktion erforscht wurden [36]–[38]. Um das Konzept auch für Übernahmesituationen verwenden zu können, wurde es im Projekt erweitert und die Gütemaße, die durch die Kooperationspartner modelliert werden, um zeitvariante Transitionsparameter für jeweils Mensch und Automation ergänzt. Diese Parameter beschreiben, wie gut der entsprechende Partner der Fahraufgabe nachkommt. Um jederzeit eine sichere Kontrolle des Fahrzeugs zu garantieren, darf der Transitionssparameter der Automation nur in dem Maße abnehmen, wie die Fahrbereitschaft des Menschen zunimmt. Für eine detaillierte Darstellung des Regelungskonzepts sei auf [39] verwiesen.

Das Verbesserungspotenzial der so durchgeföhrten Transitionen gegenüber alternativen Konzepten konnte bereits anhand eines Experiments mit einer abstrahierten Lenkaufgabe gezeigt werden [40]. Für den Übertrag auf die deutlich komplexere Aufgabe der Fahrzeugführung und den Einsatz im Kontext des hochautomatisierten Fahrens müssen jedoch weitere Herausforderungen überwunden werden. Da die Fahrbereitschaft während des Übergabeprozesses stark von der zuvor durchgeföhrten Tätigkeit abhängt (siehe Abschnitt 2), muss diese auch für die Transition berücksichtigt werden. Im Gegensatz zum Experiment kann der Verlauf des Transitionssparameters des Menschen deshalb nicht mehr vorab auf die eine vorgegebene Tätigkeit angepasst werden, sondern muss individuell auf die gerade vom Fahrer durchgeföhrte Tätigkeit abgestimmt werden. Die zuvor vorgestellte Innenraumbeobachtung hilft hierbei zuverlässig die aktuellen Aktivitäten des Fahrers zu erkennen und erlaubt es so die Übergabe entsprechend anzupassen. Einerseits kann die Fahrzeugkontrolle so schnell an aufmerksame Fahrer abgegeben werden, andererseits kann eine Transition bereits früher vorbereitet und initiiert werden, falls sich der Fahrer mit einer stark involvierenden Tätigkeit beschäftigt und zudem das Übernehmen der Fahraufgabe stärker unterstützt werden.

## 8 Zusammenfassung

Es wurde das Konzept des Projekts PAKoS für die Fahrererkennung und den Kontrolltransfer bei der Übergabe vom automatisierten zum manuellen Fahrmodus vorgestellt. Hierfür wurde zuerst dargelegt welche Faktoren die Übergabefähigkeiten des Fahrers beeinflussen und dann auf den Einfluss von Nebentätigkeiten fokussiert. Es wurde der im Projekt gesammelte erste umfassende und öffentliche Datensatz zur Entwicklung und Evaluation von Algorithmen für die Nebentätigkeitserfassung vorgestellt. Dieser umfasst verschiedene Sensorsysteme und Ansichten mit insgesamt 12 Stunden manuell annotiertem Videomaterial und insgesamt 83 Klassen in einer dreistufigen Aktivitätshierarchie. Auf dieser Basis wurde ein erstes Verfahren zur skelettbasierten Aktivitätserkennung präsentiert und evaluiert. Abschließend wurde noch gezeigt wie diese Nebentätigkeitserfassung in ein kooperatives Regelkonzept integriert werden kann, um während der gesamten Übergabephase das Risiko von Fahrfehlern sowohl der Automation als auch des menschlichen Fahrers zu minimieren.

## 9 Literatur

- [1] On-Road Automated Driving (ORAD) committee, „Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles“, SAE International.
- [2] D. Damböck, M. Farid, L. Tönert, und K. Bengler, „Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren“, *Tag. Fahrerassistenz Münch.*, Bd. 15, S. 16, 2012.
- [3] C. Gold, D. Damböck, L. Lorenz, und K. Bengler, „“Take over!” How long does it take to get the driver back into the loop?“, *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.*, Bd. 57, Nr. 1, S. 1938–1942, 2013.
- [4] I. Petermann-Stock, L. Hackenberg, T. Muhr, und C. Mergl, „Wie lange braucht der Fahrer? Eine Analyse zu Übernahmezeiten aus verschiedenen Nebentätigkeiten während einer hochautomatisierten Staufahrt“, *6 Tag. Fahrerassistenzsysteme Weg Zum Autom. Fahr.*, 2013.
- [5] J. Radlmayr, C. Gold, L. Lorenz, M. Farid, und K. Bengler, „How traffic situations and non-driving related tasks affect the take-over quality in highly automated driving“, in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 2014, Bd. 58, S. 2063–2067.
- [6] N. Merat, A. H. Jamson, F. C. H. Lai, M. Daly, und O. M. J. Carsten, „Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle“, *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, Bd. 27, S. 274–282, 2014.

- [7] M. Martin, J. Popp, M. Anneken, M. Voit, und R. Stiefelhagen, „Body Pose and Context Information for Driver Secondary Task Detection“, in *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2018, S. 2015–2021.
- [8] M. Martin *u. a.*, „Drive&Act: A Multi-modal Dataset for Fine-grained Driver Behavior Recognition in Autonomous Vehicles“, in *The IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2019.
- [9] M. Martin *u. a.*, „Driver observation and shared vehicle control: supporting the driver on the way back into the control loop“, - *Autom.*, Bd. 66, Nr. 2, S. 146–159, 2018.
- [10] M. Wollmer *u. a.*, „Online driver distraction detection using long short-term memory“, *Trans. Intell. Transp. Syst.*, Bd. 12, Nr. 2, S. 574–582, 2011.
- [11] R. O. Mbouna, S. G. Kong, und M.-G. Chun, „Visual analysis of eye state and head pose for driver alertness monitoring“, *Trans. Intell. Transp. Syst.*, Bd. 14, Nr. 3, S. 1462–1469, 2013.
- [12] T. Liu, Y. Yang, G.-B. Huang, Y. K. Yeo, und Z. Lin, „Driver distraction detection using semi-supervised machine learning“, *Trans. Intell. Transp. Syst.*, Bd. 17, Nr. 4, S. 1108–1120, 2016.
- [13] P. Jiménez, L. M. Bergasa, J. Nuevo, N. Hernández, und I. G. Daza, „Gaze fixation system for the evaluation of driver distractions induced by IVIS“, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, Bd. 13, Nr. 3, S. 1167–1178, 2012.
- [14] F. Vicente, Z. Huang, X. Xiong, F. De la Torre, W. Zhang, und D. Levi, „Driver gaze tracking and eyes off the road detection system“, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, Bd. 16, Nr. 4, S. 2014–2027, 2015.
- [15] T. H. N. Le, Y. Zheng, C. Zhu, K. Luu, und M. Savvides, „Multiple scale faster-rcnn approach to driver's cell-phone usage and hands on steering wheel detection“, in *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2016 IEEE Conference on*, 2016, S. 46–53.
- [16] S. Y. Cheng und M. M. Trivedi, „Vision-Based Infotainment User Determination by Hand Recognition for Driver Assistance“, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, Bd. 11, Nr. 3, S. 759–764, Sep. 2010.
- [17] E. Ohn-Bar, S. Martin, A. Tawari, und M. M. Trivedi, „Head, eye, and hand patterns for driver activity recognition“, in *Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition*, 2014, S. 660–665.
- [18] M. Martin, S. Stuehmer, M. Voit, und R. Stiefelhagen, „Real time driver body pose estimation for novel assistance systems“, in *International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2017, S. 1–7.

- [19] K. Simonyan und A. Zisserman, „Two-stream convolutional networks for action recognition in videos“, in *Advances in neural information processing systems*, 2014, S. 568–576.
- [20] J. Y.-H. Ng, M. Hausknecht, S. Vijayanarasimhan, O. Vinyals, R. Monga, und G. Toderici, „Beyond short snippets: Deep networks for video classification“, in *Proceedings of the international conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2015, S. 4694–4702.
- [21] J. Donahue *u. a.*, „Long-term recurrent convolutional networks for visual recognition and description“, in *Proceedings of the conference on computer vision and pattern recognition*, 2015, S. 2625–2634.
- [22] S. Ji, W. Xu, M. Yang, und K. Yu, „3D convolutional neural networks for human action recognition“, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, Bd. 35, Nr. 1, S. 221–231, 2013.
- [23] D. Tran, L. Bourdev, R. Fergus, L. Torresani, und M. Paluri, „Learning spatiotemporal features with 3d convolutional networks“, in *Proceedings of the International Conference on Computer Vision*, 2015, S. 4489–4497.
- [24] J. Carreira und A. Zisserman, „Quo vadis, action recognition? a new model and the kinetics dataset“, in *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2017, S. 6299–6308.
- [25] J. Liu, A. Shahroudy, M. Perez, G. Wang, L.-Y. Duan, und A. C. Kot, „NTU RGB+D 120: A Large-Scale Benchmark for 3D Human Activity Understanding“, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, S. 1–1, 2019.
- [26] H. Wang und L. Wang, „Modeling temporal dynamics and spatial configurations of actions using two-stream recurrent neural networks“, in *e Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017.
- [27] J. Liu, A. Shahroudy, D. Xu, und G. Wang, „Spatio-temporal lstm with trust gates for 3d human action recognition“, in *European Conference on Computer Vision*, 2016, S. 816–833.
- [28] S. Yan, Y. Xiong, und D. Lin, „Spatial temporal graph convolutional networks for skeleton-based action recognition“, in *Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2018.
- [29] P. Gebert, A. Roitberg, M. Haurilet, und R. Stiefelhagen, „End-to-end Prediction of Driver Intention using 3D Convolutional Neural Networks“, in *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Paris, France, 2019.

- [30] C. Yan, F. Coenen, und B. Zhang, „Driving posture recognition by joint application of motion history image and pyramid histogram of oriented gradients“, *Int. J. Veh. Technol.*, Bd. 2014, 2014.
- [31] C. Yan, F. Coenen, und B. Zhang, „Driving posture recognition by convolutional neural networks“, *IET Comput. Vis.*, Bd. 10, Nr. 2, S. 103–114, 2016.
- [32] S. Masood, A. Rai, A. Aggarwal, M. N. Doja, und M. Ahmad, „Detecting distraction of drivers using Convolutional Neural Network“, *Pattern Recognit. Lett.*, Jan. 2018.
- [33] Y. Abouelnaga, H. M. Eraqi, und M. N. Moustafa, „Real-time distracted driver posture classification“, *Mach. Learn. Intell. Transp. Syst. Workshop Conf. Neural Inf. Process. Syst. NeuroIPS*, 2018.
- [34] Z. Cao, G. Hidalgo, T. Simon, S.-E. Wei, und Y. Sheikh, „OpenPose: realtime multi-person 2D pose estimation using Part Affinity Fields“, in *arXiv preprint arXiv:1812.08008*, 2018.
- [35] D. A. Abbink, M. Mulder, und E. R. Boer, „Haptic shared control: smoothly shifting control authority?“, *Cogn. Technol. Work*, Bd. 14, Nr. 1, S. 19–28, März 2012.
- [36] M. Flad, J. Otten, S. Schwab, und S. Hohmann, „Steering driver assistance system: A systematic cooperative shared control design approach“, in *Proceedings of the International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, 2014, S. 3585–3592.
- [37] X. Na und D. J. Cole, „Game-theoretic modeling of the steering interaction between a human driver and a vehicle collision avoidance controller“, *IEEE Trans. Hum.-Mach. Syst.*, Bd. 45, Nr. 1, S. 25–38, 2015.
- [38] S. H. Tamaddoni, S. Taheri, und M. Ahmadian, „Optimal preview game theory approach to vehicle stability controller design“, *Veh. Syst. Dyn.*, Bd. 49, Nr. 12, S. 1967–1979, 2011.
- [39] J. Ludwig, C. Gote, M. Flad, und S. Hohmann, „Cooperative Dynamic Vehicle Control Allocation using Time-Variant Differential Games“, in *Proceedings of the International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, 2017, S. 117–122.
- [40] J. Ludwig, A. Haas, M. Flad, und S. Hohmann, „A Comparison of Concepts for Control Transitions from Automation to Human“, in *International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2018, S. 3201–3206.

# Stillstehendes Lenkrad im automatisierten Fahrzeug: Fahrerübergabe, Sicherheitsempfinden & Komfort

**Jan Sterthoff, M.Sc., Vanessa Stange, M.Sc., Alexander Hafner, M.Sc., Priv. Doz. Dr.-Ing. Roman Henze, Prof. Dr.-Ing. Ferit Küçükay, Prof. Dr. Mark Vollrath**, Technische Universität Braunschweig

## Kurzfassung

In einer Fahrsimulatorstudie wurde der Einfluss unterschiedlicher Lenkradzustände (stillstehend / mitdrehend) während der automatisierten Fahrt auf das Sicherheits- und Komfortempfinden des Fahrers untersucht sowie in einem zweiten Studienabschnitt die Übergabe der Fahraufgabe an den Fahrer mit einem stillstehenden Lenkrad näher betrachtet. Es zeigt sich, dass ein stillstehendes Lenkrad den erlebten Komfort erhöht. Ein während der automatisierten Fahrt mitdrehendes Lenkrad führt hingegen zu einem höheren Sicherheitsempfinden, sodass insgesamt keine eindeutige Präferenz für einen der beiden untersuchten Lenkradzustände festzustellen ist. Hinsichtlich der Übergabe der Fahraufgabe an den Fahrer wurden verschiedene Synchronisierungsvarianten zwischen den in einer Kurve eingeschlagenen Vorderrädern und einem stillstehenden Lenkrad untersucht. Dabei wurden Varianten, in denen der Fahrer die Synchronisierung aus der Geradeausposition des Lenkrads selbst durchführt, mit Varianten, bei denen die Synchronisierung automatisch durch das Lenksystem durchgeführt wird, verglichen. Auf Basis der Beherrschbarkeitsbewertungen und der Präferenz der Probanden erweist sich eine Synchronisierung durch das Lenksystem als bevorzugtes Übergabekonzept. Da eine Synchronisierung durch das Lenksystem allerdings nur für fahrzeugseitige Überga-beauforderungen geeignet ist, muss ein Gesamtkonzept im Fahrzeug eventuell um eine Variante, die stets einen Fahrereingriff ermöglicht und ebenfalls gut beherrschbar ist, ergänzt werden.

## 1. Einleitung

Seit der Erfindung des Automobils stellt das Lenkrad die zentrale Schnittstelle für den Fahrer dar, um den gewünschten Fahrzeugkurs einzustellen. Mit der Einführung hochautomatisierter Fahrzeuge muss das Lenkrad als Schnittstelle zum Fahrer überdacht werden. Während das

hochautomatisierte Fahrzeug die Fahrausgabe ausführt, ist theoretisch kein Lenkrad erforderlich. Erst wenn der hochautomatisierte Fahrmodus verlassen wird und der Fahrer übernehmen muss, wird eine Schnittstelle wie das Lenkrad notwendig. In Fahrzeugen der SAE Levels 3 und 4 [1] muss daher ein Lenkrad vorgehalten werden, da es stets zu einer Übergabe der Fahraufgabe kommen kann.

Für den hochautomatisierten Fahrbetrieb sind neue Lenkrad-Funktionalitäten denkbar. Mit alternativen Lenkungstechnologien, z.B. Steer-by-Wire Systemen, ist es möglich, das Lenkrad während der automatisierten Fahrt stillstehen zu lassen. Dabei stellt sich die Frage, wie sich ein stillstehendes Lenkrad während der automatisierten Fahrt auf das Komfort- und Sicherheitserleben des Fahrers auswirkt. Bislang durchgeführte Untersuchungen hinsichtlich Komfort- und Sicherheitserleben beziehen sich hauptsächlich auf das Gesamtfahrzeugverhalten. Untersucht wurden hierbei die Ähnlichkeit des automatisierten Fahrstils zum Fahrstil des Fahrers [2-4], Persönlichkeitsmerkmale [3] und Alter [4], oder Fahrparameter, wie z.B. die Beschleunigungswerte [5] und Trajektorienwahl [6]. Hinsichtlich des Komfort- und Sicherheitsempfinden mit einem stillstehenden Lenkrad führten Brunken et. al. [7] eine Studie mit sechs Probanden in einem Parcours auf einem Testgelände durch. Alle sechs Probanden bevorzugten ein mitdrehendes Lenkrad während der hochautomatisierten Fahrt. Kerschbaum et. al. [8] verglichen ein mitdrehendes Lenkrad gegenüber einem stillstehenden Lenkrad in einer Simulatorstudie mit 48 Probanden während einer hochautomatisierten Fahrt auf der Autobahn. Aufgrund der geringen Kurvenradien auf Autobahnen wurde das stillstehende Lenkrad jedoch von viele Probanden nicht wahrgenommen. Die Probanden, die den Unterschied wahrnahmen, bevorzugten ein Middrehen des Lenkrads. Eine detaillierte Auswertung hinsichtlich verschiedener Kriterien, wie Sicherheits- oder Komfortempfinden, wurde in der Studie von [8] nicht durchgeführt.

Kommt es bei Verwendung eines stillstehenden Lenkrads zu einer Übergabe der Fahraufgabe an den Fahrer, muss zusätzlich ein Übergabeprozess an den Fahrer gestaltet werden. In diesem Prozess ist es notwendig, die Vorderräder, die entsprechend der aktuellen Fahrsituation eingeschlagen sein können, mit dem Lenkrad zu synchronisieren. Die bisherige Forschung zur Übernahme der Fahraufgabe durch den menschlichen Fahrer im hochautomatisierten Fahrzeug bezieht sich schwerpunktmäßig auf fahrzeuginitiierten Übernahmeaufforderungen im Level 3 Fahrzeug. Hier wurden die benötigte Übernahmezeit [9] sowie die Art der Übergabeaufforderung, z.B. durch akustische, visuelle und/ oder haptische Signale [10-11] bereits umfassend untersucht. Kerschbaum et. al. [8] führten im Rahmen der oben genannten Simulatorstudie ein Übernahmemanöver mit einem stillstehenden Lenkrad in einer s-Kurve durch. Hierbei

wurde eine Variante, bei der das stillstehende Lenkrad mit den Vorderrädern direkt vor der Übernahme automatisch synchronisiert wurde, mit einer Variante bei der das Lenkrad nicht synchronisiert werden muss, da es keine sichtbare Orientierung besitzt, sowie einer Kontrollgruppe verglichen. Die Lenkradvariante ohne sichtbare Orientierung erwies sich als besser und die stillstehende Variante mit automatischer Synchronisierung ähnlich kontrollierbar verglichen mit der Kontrollgruppe.

Bislang ist somit weitgehend unklar, welches Lenkradverhalten menschliche Fahrer während der hochautomatisierten Fahrt sowie der Übernahme der Fahraufgabe als sicher bzw. komfortabel erleben und präferieren.

Vor diesem Hintergrund wurde die im Folgenden beschriebene Fahrsimulatorstudie am dynamischen Fahrsimulator des Instituts für Fahrzeugtechnik im Zeitraum von Februar bis März 2019 durchgeführt.

Ziel des ersten Studienabschnitts war es den Einfluss des Lenkradzustands während der hochautomatisierten Fahrt auf das Sicherheits- und Komforterleben menschlicher Fahrer zu untersuchen. Dazu wurde im ersten Studienabschnitt ein mitdrehendes Lenkrad mit einem stillstehenden Lenkrad während einer hochautomatisierten Fahrt auf der Autobahn und auf der Landstraße ohne jegliche Übernahmeaufforderungen an den Fahrer verglichen.

Ziel des zweiten Studienabschnitts war es, die Beherrschbarkeit des Fahrzeugs bei der Übergabe der Fahraufgabe an den Fahrer in einer Kurve bei gleichsinnigen und gegensinnigen Ausweichmanövern mit geringer Kritikalität zu untersuchen. Bei der Übergabe wird der Fokus ausschließlich auf das stillstehende Lenkrad gelegt, da hier eine Synchronisierung zwischen den Vorderrädern und dem Lenkrad notwendig ist. Für den Übergabeprozess werden verschiedene (Synchronisierungs-) Varianten untersucht und miteinander verglichen.

## 2. Methode

### 2.1. Dynamischer Gesamtfahrzeugsimulator

Die Simulatorstudie wurde am Dynamic Vehicle Road Simulator (DVRS) am Institut für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Braunschweig umgesetzt, Bild 1. Als Mockup kommt ein Volkswagen Golf VII zum Einsatz, der auf einer hydraulischen Bewegungsplattform (Hekapode) montiert ist. Beschleunigungen in Längs- und Querrichtung können durch Drehbewegungen bis 30° abgebildet werden. Zur Berechnung der Fahrdynamik wird ein detailliertes

Zweispurmodell, entwickelt am Institut für Fahrzeugtechnik, verwendet [12, 13]. Die Simulationsumgebung wird mittels der Simulationssoftware SILAB Version 5 [14] auf fünf Bildschirmen (48 Zoll Bildschirmdiagonale), die vor dem Mockup montiert sind, dargestellt. Die Kommunikation mit den Probanden erfolgt während der Fahrt über eine Gegensprecheanlage.



Bild 1: Dynamischer Gesamtfahrzeugsimulator

## 2.2. Probanden

Insgesamt nahmen  $N = 50$  Probanden (70% männlich) im Alter von 20 bis 70 Jahren ( $M = 36.2$  Jahre,  $SD = 17.7$  Jahre) an der Studie teil. Die durchschnittliche jährliche Fahrleistung beträgt  $M = 14.100$  km ( $SD = 12.060$  km). 60 % der Probanden hat Vorerfahrung durch frühere Fahr-simulatorstudien.

Die Probanden wurden zu 90% aus einer bestehende Probandendatenbank des Lehrstuhls für Ingenieur- und Verkehrspsychologie der TU Braunschweig und zu 10% intern am Institut für Fahrzeugtechnik rekrutiert. Alle Probanden absolvierten beide Studienabschnitte.

## Studienabschnitt I

### 2.3. Versuchsplan und Fahrszenarien

Um die Frage zu beantworten, welchen Lenkradzustand menschliche Fahrer während einer hochautomatisierten Fahrt bevorzugen, wurde der Lenkradzustand variiert. Die Probanden erlebten eine elf Kilometer lange automatisierte Autobahnfahrt mit variierender Verkehrsdichte. Die Probanden werden mit einer automatisierten Längsführung, Geschwindigkeitseinstellung

120 km/h, und einer automatisierten Querführung auf der Autobahn gefahren. Die Querführungsfunction beinhaltet eine Spurführung sowie automatisierte Spurwechsel. Dabei waren die Probanden instruiert, dass sie das automatisierte System während der Fahrt nicht zu überwachen brauchten, jedoch sollten sie keiner Nebentätigkeit nachgehen.

Auf den Autobahnabschnitt folgte eine kurvenreiche Landstraße, bei der im Vergleich zur Autobahn, höhere Lenkradwinkel erreicht wurden, siehe Bild 2. Durch die größeren Lenkradwinkel soll der Unterschied zwischen den beiden Lenkradzuständen für die Probanden noch deutlicher werden. Jeder Proband erlebte beide Fahrtabschnitte einmal mit stillstehendem und einmal mit mitdrehendem Lenkrad. Die Reihenfolge der präsentierten Lenkradzustände wurde dabei zwischen den Probanden permutiert.



Bild 2: Kurvenfahrt im Landstraßenabschnitt mit stillstehendem Lenkrad (links) und mitdrehendem Lenkrad (rechts)

#### 2.4. Erhobene Daten

Nach der Fahrt wurden die Probanden nach ihrer erlebten Sicherheit, erlebten Komfort, Vertrauen in die Automationsfunktion sowie ihrer Gesamtpräferenz hinsichtlich des Lenkradzustands (stillstehend / mitdrehend) befragt. Hierbei sollten die Probanden auch Gründe für ihre Gesamtpräferenz angeben. Zusätzlich sollten die Probanden die Vorhersehbarkeit des Fahrzeugkurses bewerten. Die Probanden musste sich bei allen Bewertungskriterien zwischen den beiden Lenkradzuständen entscheiden oder keine Präferenz angeben.

## Studienabschnitt II

### 2.5. Versuchsplan und Fahrszenarien

Die Synchronisierung der während der Kurvenfahrt eingeschlagenen Vorderräder und dem stillstehenden Lenkrad kann auf verschiedene Weisen erfolgen. Um zu beantworten, welche Variante der Synchronisierung im Rahmen einer Übergabe an den Fahrer am besten beherrschbar ist, wird die Übergabe mit stillstehendem Lenkrad näher betrachtet.

Grundlage hierfür war entsprechend eine Kurvenfahrt, bei der die Vorderräder eingeschlagen sind, sich das Lenkrad aber in der Geradeausposition befindet. Für den Synchronisierungsprozess zwischen Rädern und Lenkrad werden verschiedene Varianten der Synchronisierung untersucht.

Das Basis-Szenario ist eine zweispurige Landstraße mit jeweils zwei Fahrstreifen in jede Fahrtrichtung. Es besteht aus einem liegen gebliebenem Fahrzeug in einer langgezogenen Kurve (Kurvenradius 700 m), siehe Bild 3. Aufgrund von schlechtem Wetter und hoher Nebeldichte erhält der Fahrer zu Beginn der Kurve eine Übernahmeaufforderung. Die Probanden hatten die Aufgabe in der langgezogenen Kurve das Lenkrad übernehmen und den Fahrstreifen wechseln, da das liegen gebliebene Fahrzeug den eigenen Fahrstreifen blockierte. Aufgrund der Kurvensituation sind der Lenkradwinkel und der Einschlagwinkel der Räder verschieden und ein Synchronisierungsprozess wird notwendig. Die Situation ist so ausgelegt, dass der Fahrer ausreichend Zeit ( $\text{Time to Collision} > 6 \text{ s}$ ) hatte, um in die Fahraufgabe zu übernehmen.

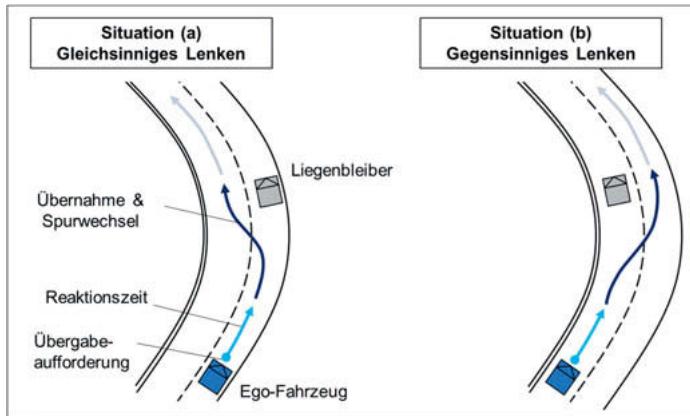


Bild 3: Aufbau der Übernahmesituationen (a) mit gleichsinnigem Lenken und (b) mit gegensinnigem Lenken

Die Situation wird in zwei Ausprägungen implementiert, siehe Bild 3. In Situation (a) muss der Fahrer nach der Übernahme in Kurvenrichtung gleichsinnig weiter einlenken, um die Spur zu wechseln. In dieser Situation werden drei Synchronisierungsvarianten betrachtet, Bild 4 links. In Variante 1 muss der Fahrer zunächst solange einlenken, bis der Lenkradwinkel dem Winkel der Räder entspricht. Erst ab diesem Punkt wird der Lenkradwinkel an die Räder weitergeleitet. Dies führt zu einem anfänglichen Totband. In Variante 2 wird direkt beim Anlenken ein vorein definierter Prozentsatz, in diesem Fall 50%, an die Räder weitergeleitet. Wenn Lenkradwinkel und die Radwinkel vollständig angeglichen sind, wird der gesamte Lenkradwinkel weitergeleitet. In Variante 3 übernimmt der Proband nicht von der Geradesausposition. Das Lenksystem führt vor der Übernahme eine Vorpositionierung durch, sodass sich zum Zeitpunkt der Übernahme der Lenkradwinkel und der Winkel der Räder gleichen. Diese Variante ist insbesondere für Übergabeaufforderungen vom Fahrzeug nutzbar. Die Varianten 1 und 2 ermöglichen zusätzlich jederzeit einen Fahrereingriff ins Lenkrad.

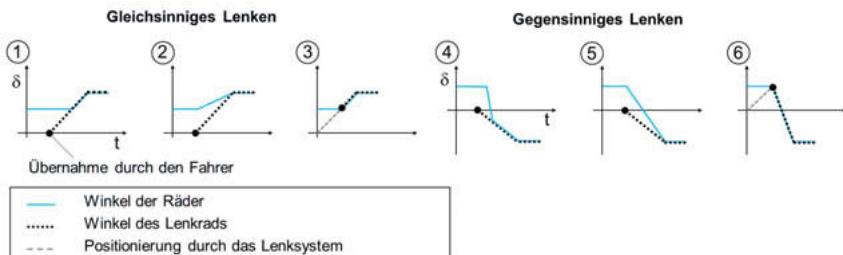


Bild 4: Lenkrad- und Radwinkel über der Zeit für die verschiedenen Übergabevarianten

In Situation (b) muss der Proband gegensinnig zur Kurvenrichtung gegenlenken. Auch in dieser Situation werden drei Varianten betrachtet, Bild 4 rechts. In Variante 4 werden die Räder mit einer festgelegte Drehrate bis zum Erreichen des Lenkradwinkels, also bis zur vollständigen Synchronisierung, geschwenkt. Im Rahmen dieser Studie wird die Drehrate nahezu transient gewählt. Variante 5 ist das Gegenstück zu Variante 2. Ein vordefinierter Prozentsatz, hier 150%, des Lenkradwinkels wird direkt beim Anlenken an die Räder weitergeleitet, bis die Synchronisierung abschlossen ist. Variante 6 funktioniert analog zu Variante 3 in Situation (a). Das Lenkrad wird vor der Übergabeaufforderung an den Fahrer entsprechend der Radstellung vorpositioniert.

Die Probanden erlebten die drei Varianten 1 bis 3 innerhalb von Szenario (a) und die drei Varianten 4 bis 6 in Situation (b) jeweils vier Mal.

## 2.6. Erhobene Daten

Vor der eigentlichen Bewertung der verschiedenen Varianten wurden die Probanden befragt, ob sie einen Unterschied zwischen allen Übergabevarianten einer Situation, (a) oder (b), erkennen konnten.

Nachdem die Probanden die verschiedenen Varianten in einer Situation, (a) oder (b), erlebt haben, erfolgt die Bewertung der Varianten 1-3 sowie 4-6 hinsichtlich der Beherrschbarkeit auf einer 5-stufigen Likertskaala, von 1 („sehr schlecht beherrschbar“) bis 5 („sehr gut beherrschbar“). Die Bewertungen wurden im Rahmen der Datenaufbereitung standardisiert, da sich je nach Proband eine individuelle Ausnutzung der Skala hinsichtlich Niveau und Spreizung

ergibt. Hierfür werden die Bewertungen eines einzelnen Probanden zunächst mittels z-Transformation standardisiert und anschließend jeweils mit dem Mittelwert und der Standardabweichung der Stichprobe zurücktransformiert.

Neben der Bewertung der Beherrschbarkeit wurden die Probanden in beiden Situationen gebeten, ihre bevorzugte Übergabevariante zu benennen.

### 3. Ergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse wird analog zum Aufbau der Simulatorstudie in zwei Abschnitte eingeteilt.

#### 3.1. Studienabschnitt I: Vergleich von stillstehendem und mitdrehendem Lenkrad

Bild 5 zeigt die Antworten zu den verschiedenen Lenkradzuständen. Mehr als zwei Drittel der Probanden schreiben dem mitdrehenden Lenkrad einen positiven Einfluss zu, wenn es darum geht, den Fahrzeugkurs einzuschätzen. Ebenso bewertet die Mehrheit der Probanden Vertrauen in das hochautomatisierte System und wahrgenommene Sicherheit höher, wenn sich das Lenkrad während der Fahrt mitdreht. Das stillstehende Lenkrad wurde hingegen eindeutig als komfortabler bewertet. Die Gesamtbewertung zwischen den beiden Lenkradzuständen ist ausgeglichen. Häufig genannte Gründe für ein stillstehendes Lenkrad sind höherer Komfort (12 Nennungen) und das verstärkte Gefühl Passagier anstelle des Fahrers zu sein (9 Nennungen). Als Gründe für die Präferenz eines mitdrehenden Lenkrads wurden die Gewohnheit eines mitdrehenden Lenkrads aus dem manuellen Fahren (5 Nennungen) und, dass die aktive Regelung des Fahrzeugs durch die Automationsfunktion besser erkennbar ist (Kontrolle der Funktion durch den Fahrer) (11 Nennungen).

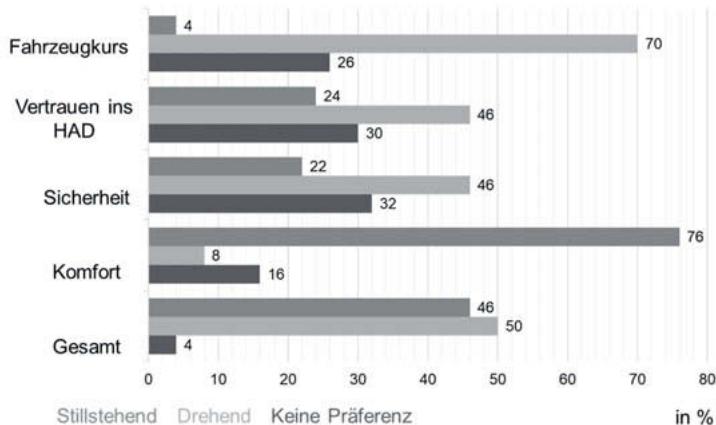


Bild 5: Bewertungen der beiden Lenkradzustände hinsichtlich der abgefragten Dimensionen

### 3.2. Studienabschnitt II: Übergabevarianten

Der Manipulationscheck ergab, dass etwa 90% der Probanden angaben, einen Unterschied zwischen allen Varianten in Situation (a) wahrgenommen zu haben. Für Situation (b) geben sogar mehr als 90% aller Probanden an, einen Unterschied zwischen allen Varianten bemerkt zu haben.

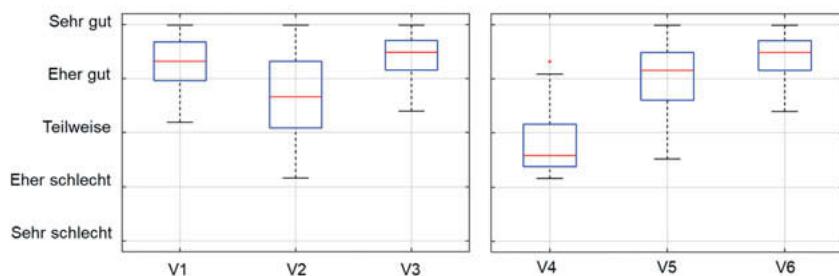


Bild 6: Verteilung der Beherrschbarkeitsbewertungen der Übergabevarianten 1 bis 6 in den untersuchten Situationen (a) und (b)

Bild 6 links zeigt die standardisierten Beherrschbarkeitsbewertungen für die Lenkradvarianten 1 bis 3 in der Situation (a). Im Durchschnitt wurden alle Varianten besser als „teilweise beherrschbar“ bewertet.

Das Ergebnis eines Friedman-Tests zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Lenkradvarianten ( $\chi^2(2) = 25.59, p < .001$ ) hinsichtlich der Beherrschbarkeit des Fahrzeugs nach der Übergabe. Paarweise Vergleiche mit Bonferroni Fehlkorrektur zeigten, dass Variante 2 signifikant schlechter bewertet wurde als Variante 1 ( $p < .001$ ) und Variante 3 ( $p < .001$ ). Zwischen Variante 1 und 3 gab es keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0.748$ ).

Die Beherrschbarkeitsbewertungen für die Varianten 4 bis 6 in Situation (b) sind in Bild 6 rechts abgebildet. Ein Friedman-Test ergab signifikante Unterschied zwischen den Varianten ( $\chi^2(2) = 62.87, p < .001$ ). Variante 4 wurde schlechter bewertet als Variante 5 ( $p < .001$ ) und als Variante 6 ( $p < .001$ ). Sowohl Variante 5 als auch Variante 6 wurden durchschnittlich besser als „eher gut“ bewertet, wobei es zwischen den beiden Varianten keinen signifikanten Unterschied gab ( $p = 0.135$ ).

Folglich führt in beiden Situation eine Vorpositionierung des Lenkrads (Varianten 3 & 6) nicht zwangsläufig zu einer wesentlichen Verbesserung der subjektiv empfundenen Beherrschbarkeit. Hinsichtlich der Präferenz zeigt sich jedoch, dass die Vorpositionierung des Lenkrads (Varianten 3 & 6) in beiden Situationen, insbesondere beim gleichsinnigen Lenken, von der Mehrheit der Probanden bevorzugt wird, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Präferenz der Übergabevarianten

Gleichsinniges Lenken Situation (a)		Gegensinniges Lenken Situation (b)	
Variante 1	12 %	Variante 4	2 %
Variante 2	6 %	Variante 5	36 %
Variante 3	82 %	Variante 6	62 %

#### 4. Diskussion

Studienabschnitt I:

Insgesamt wurde das stillstehende Lenkrad von der Mehrheit der Probanden als komfortabler im Vergleich zum mitdrehenden Lenkrad bewertet. Hinsichtlich der Sicherheit bevorzugten jedoch mehr Probanden ein mitdrehendes Lenkrad, sodass die Gesamtbewertung zwischen beiden Modi unentschieden ist. Ein positiver Einfluss des mitdrehenden Lenkrads auf die Vorhersehbarkeit des Fahrzeugkurses erscheint logisch, da der Lenkradwinkel mit der Fahrzeugreaktion gekoppelt ist und dieser Zusammenhang dem Fahrer bekannt ist. Nichtsdestotrotz kann dieses Kriterium als am wenigsten relevant erachtet werden, da eine Überwachung des Fahrzeugkurses im automatisierten Fahren höherer Level nicht notwendig ist.

Studienabschnitt II:

Betrachtet man die Beherrschbarkeitsbewertungen (Bild 6) sowie die Präferenz der Probanden (Tabelle 1), lässt sich erkennen, dass eine Vorpositionierung des Lenkrads durch das Lenksystem (Varianten 3 und 6) insgesamt ein vielversprechendes Konzept darstellt. Jedoch ist es bei diesen Konzepten für den Fahrer nicht möglich jederzeit ins Lenkrad einzugreifen. Die Varianten 1 und 5 – ohne Vorpositionierung – wurden hinsichtlich der Beherrschbarkeit im Durchschnitt ähnlich gut bewertet. Für ein zielführendes Gesamtkonzept, bei dem auch Fahrereingriffe realisiert werden können, ist es daher denkbar, die Varianten 1 und 5 zusätzlich zu integrieren. In dieser Konstellation können die Varianten mit Vorpositionierung (3 und 6) ausschließlich für fahrzeuginitiierte Übergaben, und die Varianten 1 und 5 für etwaige Fahrereingriffe, verwendet werden.

#### 5. Fazit

Die Ergebnisse der durchgeführten Studie zeigen hinsichtlich des Lenkradverhaltens kein eindeutiges Ergebnis, weder für ein mitdrehendes noch ein stillstehendes Lenkrad. Es kann im hochautomatisierten Fahrzeug folglich zielführend sein, beide Modi (mitdrehend und stillstehend) z.B. mittels Steer-by-Wire System zu integrieren. Auf diese Weise kann dem Fahrer stets die Wahl gelassen werden, insbesondere da sich die Präferenz mit fortschreitender Etablierung von automatisierten Fahrfunktionen in Richtung des komfortableren, stillstehenden Lenkrads verschieben könnte. Andererseits besteht durch die freie Wahl der Modi durch den Fahrer eventuell die Gefahr, den Fahrer im Hinblick auf Übernahmesituationen zu verunsichern. Für die Übergabe aus dem stillstehenden Lenkradmodus an den Fahrer zeigt sich eine

Vorpositionierung des Lenkrads auf Basis der Probandenbewertungen als bevorzugtes Konzept.

Sämtliche Ergebnisse wurden in einem Fahrsimulator erzielt. Obwohl der Fahrsimulator für eine möglichst gute Abbildung der Realität entwickelt worden ist, z.B. durch die Verwendung einer Bewegungsplattform, sollte die Übertragbarkeit durch Realfahrzeugversuche als nächster Schritt geprüft werden. Neben den durchgeführten Land- und Autobahnszenarien wäre es sinnvoll, die vorgestellten Lenkradfunktionen im innerstädtischen Bereich zu untersuchen, da hier das Lenkrad im Vergleich zur Autobahn deutlich stärker bewegt wird und damit mehr im Fokus steht.

## Literatur

1. SAE International: Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, J3016. (2014)
2. Griesche, S., Nicolay, E., Assmann, D., Dotzauer, M., Käthner, D.: Should my car drive as I do? What kind of driving style do drivers prefer for the design of automated driving functions? 17. Braunschweiger Symposium Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel (AAET) (2016)
3. 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.
4. Hartwich, F., Beggiato, 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.
5. 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.
6. Rossner, P., & Bullinger, A.C. (2019). Do You Shift or Not? Influence of Trajectory Behaviour on Perceived Safety During Automated Driving on Rural Roads. In H. Krömker (Eds.). *HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. HCII 2019. Lecture Notes in Computer Science*, vol 11596. Springer: Cham.

7. Brunken, C., Schomerus, J., Löper, C., Schieben, A., Kelsch, J., Köster F.: Entwicklung haptischer Interaktionsmuster zur Führung hochautomatisierter Fahrzeuge über ein Steer-by-Wire-System. 13. Braunschweiger Symposium Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel (AAET) (2012)
8. Kerschbaum, P., Lorenz, L., Bengler, K.: Highly automated driving with a decoupled steering wheel. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 58th Annual Meeting (2014)
9. Zhang, B., de Winter, J., Varotto, S., Happee, R., & Martens, M. (2019). Determinants of take-over time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 64, 285 – 307.
10. Naujoks, F., Forster, Y., Wiedemann, K., & Neukum, A. (2017). Improving Usefulness of Automated Driving by Lowering Primary Task Interference through HMI Design. Journal of Advances Transportation, vol. 2017, Article ID 6105087.
11. Petermeijer, S., Bazilinskyy, P., Bengler, K., & de Winter, J. (2017). Take-over again: Investigating multimodal and directional TORs to get the driver back into the loop. Applied Ergonomics, 62, 204 – 215.
12. Frömmig, L.: Simulation und fahrdynamische Analyse querverteilender Antriebssysteme. Shaker Verlag, Braunschweig (2012)
13. Boßdorf-Zimmer, B.: Nichtlineare Fahrzustandsbeobachtung für die Echtzeitanwendung. Shaker Verlag, Braunschweig (2007)
14. Grau, J., Sterthoff J., Boßdorf-Zimmer, B., Henze, R., Küçükay, F.: Steering Feedback Perception of Average Drivers. SAE International (2018)
15. Krueger, H.-P., Grein, M., Kraussner, A., & Mark, C.: SILAB – a task-oriented driving simulation. Proceeding of the driving simulator conference (DSC). Orlando (2005)

# Der Beifahrer: Ein vernachlässigter Passagier – Entwicklung und Evaluation eines Beifahrerassistenzsystems

M.Sc. **S. Ittner**, Dr. **D. Mühlbacher**, WIVW GmbH, Veitshöchheim;  
Dr. **T. H. Weisswange**,  
Honda Research Institute Europe GmbH, Offenbach;  
Prof. Dr. **M. Vollrath**, Technische Universität Braunschweig;  
Dipl.-Psych. **A. Neukum**, WIVW GmbH, Veitshöchheim

## Kurzfassung

Lange Zeit war der Beifahrer in Bezug auf Assistenzsysteme ein vernachlässigter Faktor. Es gibt nur wenige bis keine Assistenzsysteme, die explizit den Beifahrer mit Informationen über das Fahrgeschehen oder den kognitiven Zustand des Fahrers versorgen. Erste Voruntersuchungen deuten darauf hin, dass diese im Moment eher passive Rolle des Beifahrers, verursacht durch ein Informationsdefizit und fehlende Kontrolle, zu einem Gefühl des Diskomforts führen kann – insbesondere in Fahrsituationen mit hoher Geschwindigkeit oder kleinem Abstand. In der vorliegenden Studie soll untersucht werden, welche Faktoren zu einer Verbesserung des Beifahrererlebens in diesen Situationen beitragen können. Hierzu wurden Theorien und Forschung aus Bereichen des automatisierten Fahrens, der Entscheidungsfindung, der Regelung dynamischer Systeme und der Bewältigung von Stress herangezogen. In einer Simulatorstudie mit  $N = 40$  Probanden wurden verschiedene Varianten einer Beifahrerassistenz hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Beifahrererleben untersucht. Die Assistenz präsentierte unterschiedliche Informationen über den kognitiven Zustand des Fahrers, über die Situation oder gab dem Beifahrer Möglichkeiten zum Eingriff in die Fahrsituation. Die Probanden erlebten verschiedene Folge- und Bremsszenarien auf der Autobahn mit unterschiedlichen Time Headways (THWs) einmal ohne Assistenz (Baseline) und einmal mit Assistenz. Die beiden Bedingungen wurden in permutierter Reihenfolge durchgeführt. Das Konstrukt Diskomfort wurde subjektiv über Bewertungen und offene Fragen nach jedem Folge- und Bremsszenario erfasst. Ausgewählte Ergebnisse werden präsentiert und sowohl hinsichtlich der Möglichkeiten von Beifahrerassistenz als auch der Übertragbarkeit auf automatisiertes Fahren diskutiert.

## 1. Theoretischer Hintergrund

Der Beifahrer wurde in Bezug auf Assistenzsysteme lange Zeit nicht berücksichtigt. Es gibt nur wenige Assistenzsysteme, die explizit den Beifahrer mit Informationen über das Fahrgeschehen versorgen und keine Beifahrerassistenzsysteme, die den kognitiven Zustand des Fahrers an den Beifahrer kommunizieren. Insbesondere existieren keine Beifahrerassistenzsysteme, die Informationen präsentieren, um den erlebten Diskomfort des Beifahrers während der Fahrt zu beeinflussen. Mit Diskomfort ist in diesem Fall nicht physiologisch oder sozial verursachter Diskomfort gemeint, wie er durch Motion Sickness oder durch betretenes Schweigen entstehen kann. Diese Arbeit bezieht sich auf psychisch verursachten Diskomfort wie er durch Furcht oder Sorge vor einem Unfall entstehen kann. Zwei Beispiele für serienmäßig verfügbare Beifahrerdisplay im Automobilbereich sind im Ferrari im GTC4Lusso T [1] oder bei Mercedes-Benz [2] zu finden. Diese Ideen zu Beifahrerdisplays beziehen sich aber häufig auf das Infotainments des Beifahrers. Im Bereich des automatisierten Fahrens tritt mit höheren Automatisierungsstufen die Fahraufgabe mehr und mehr in den Hintergrund, wodurch der Fahrer immer stärker zum Beifahrer des automatisierten Fahrzeugs wird. In diesem Zusammenhang liegt bereits Forschung vor, welche Informationen zu welchen Zeitpunkten dem Fahrer angezeigt werden können, um ihn über Aktionen des automatisierten Fahrzeugs dauerhaft zu informieren [3]. Die wenigen bereits existierenden Forschungsarbeiten, die sich direkt mit dem Beifahrer beschäftigen, sind weniger auf die Bedürfnisse des Beifahrers fokussiert, sondern häufig auf Unterstützungsmöglichkeiten des Fahrers durch den Beifahrer [4], [5], [6]. Weitere Arbeiten betreffen die Interaktion zwischen Beifahrer und Fahrer [7]. Eine der wenigen Arbeiten, die sich direkt mit den Bedürfnissen des Beifahrers beschäftigt, ist eine Studie von Osswald et al. [8]. Dabei wurden Autofahrer an einer Tankstelle mit Hilfe von Studienmaterialien dazu befragt, welche Informationen für den Beifahrer sinnvoll sind. Am häufigsten wurden Informationen zu Navigation bevorzugt, gefolgt von der Möglichkeit Internet, soziale Medien oder Computerspiele nutzen zu können. Bei kontextbasierten Informationen wurden am häufigsten Informationen zum Wetter, gefolgt von der aktuellen Zeit oder der Geschwindigkeit genannt. Darüber hinaus existiert noch eine Umfrage der Innofact AG [9], die von Autoscout24 beauftragt wurde und abfragte, welche Faktoren zu Diskomfort des Beifahrers führen können. Auf Basis dieser Recherche wurde genauer untersucht, welche Faktoren den Diskomfort des Beifahrers beeinflussen. Daraus kann dann abgeleitet werden, welche Informationen dargestellt werden müssen, um diesen zu reduzieren. Die Ergebnisse der Online-Umfrage durch die Innofact AG, sowie eigene erste Voruntersuchungen deuten darauf hin, dass vor

allem Situationen mit hohen Geschwindigkeiten und nahes Auffahren zu Diskomfort des Beifahrers führen. Erklärungen warum diese Situationen zu Diskomfort des Beifahrers führen, bieten Theorien wie das transaktionale Stressmodell [10], das Feedback-Loop Model [11] oder dessen ausführlichere Form, die Theorie der Situation Awareness [12]. Nach dem Feedback-Loop Model reguliert der Fahrer Geschwindigkeit und Abstand zum Vordermann in einer Feedbackschleife. Der Fahrer vergleicht die aktuelle Geschwindigkeit und den aktuellen Abstand mit seiner bevorzugten Zielgeschwindigkeit und Zielabstand. Falls hier eine Diskrepanz vorliegt, findet eine Anpassung in Form einer Reaktion statt. Das Ergebnis dieser Reaktion führt dann zu einer Veränderung in der Umgebung, die vom Fahrer wahrgenommen wird. Diese Reaktion wird so lange in der Feedbackschleife wiederholt, bis die bevorzugte Zielgeschwindigkeit/-abstand erreicht ist. Dabei hat der Fahrer zu jedem Zeitpunkt der Feedbackschleife Informationen über seinen eigenen kognitiven Zustand und Kontrolle über die Situation. Für den Beifahrer läuft dieser Vergleich ebenfalls in Form der Feedbackschleife ab. Der Unterschied zwischen der Fahrer- und Beifahrerfeedbackschleife liegt darin, dass der Beifahrer nicht die Möglichkeit hat, die aktuelle Geschwindigkeit/Abstand durch eine Aktion wie Bremsen an seine bevorzugte Zielgeschwindigkeit/-abstand anzupassen. Zusätzlich hat der Beifahrer keine Informationen über die bevorzugte Geschwindigkeit/Abstand des Fahrers und dessen Vergleichsprozess zwischen aktueller und bevorzugter Geschwindigkeit sowie des wahrgenommenen Abstands. Schließlich hat der Beifahrer nur wenige bis keine Informationen über den Aufmerksamkeitsfokus des Fahrers. Diese Diskrepanz zwischen der Menge an Informationen über den kognitiven Zustand des Fahrers und der Möglichkeit Einfluss oder Kontrolle über die Situation zu haben, kann zu einer unterschiedlichen Einschätzung der Kritikalität einer Situation führen. Diese Unterschiede an verfügbaren Informationen und Kontrolle entsprechen den unterschiedlichen Voraussetzungen persönlicher und situativer Bedingungen im transaktionalen Stressmodell [10]. Auch diese beeinflussen in diesem Modell die Einschätzung der Kritikalität bei Fahrer und Beifahrer. Im nächsten Schritt wird dann noch im Stressmodell von beiden bewertet, ob die Situation aktiv zu bewältigen ist oder eine Flucht möglich ist. Da diese beiden Varianten für den Beifahrer nicht möglich sind, kann diese fehlende Einflussmöglichkeit oder Kontrolle dazu führen, dass dieser Angst entwickelt, welche den Diskomfort beeinflusst. Aus diesen theoretischen Überlegungen wurden die folgenden fünf Hypothesen hergeleitet, um zu untersuchen, welchen Einfluss fehlenden Informationen und fehlende Kontrolle auf den Diskomfort des Beifahrers haben.

1. Der Diskomfort des Beifahrers wird durch Informationen über den Aufmerksamkeitsfokus des Fahrers reduziert

2. Der Diskomfort des Beifahrers wird durch Informationen über den Sicherheitsabstand reduziert
3. Der Diskomfort des Beifahrers wird durch die Möglichkeit Einfluss auf den Bremsprozess zu haben reduziert
4. Der Diskomfort des Beifahrers wird durch Informationen über den bevorzugten Abstand des Fahrers reduziert
5. Der Diskomfort des Beifahrers wird durch Informationen über den Fahr- und Bremsprozess des Fahrers reduziert

Diese Hypothesen werden mit beispielhaften Beifahrerassistenzsystemen im weiteren Verlauf dieser Arbeit mit Probanden getestet.

## 2. Methoden

An der Studie im statischen Simulator nahmen insgesamt  $N = 40$  Versuchspersonen teil ( $n = 21$  weiblich und  $n = 19$  männlich). Das Alter der Teilnehmer bewegte sich zwischen 21 und 68 Jahren ( $M = 43.2$  Jahre,  $SD = 14.2$  Jahre). Da die verschiedenen Varianten des Beifahrerassistenzsystems in einem „between“-Design untersucht wurden, wurde auf eine gleichmäßige Verteilung des Geschlechts und der Altersgruppen in den Teilstichproben geachtet. 65 % der Teilnehmer gaben an täglich Fahrer zu sein und die Hälfte der Teilnehmer (50 %) sind mindestens einmal in der Woche Beifahrer.

Die Dauer eines Durchgangs der Studie pro Proband betrug 1.5 Stunden. In dieser Zeit erlebten die Teilnehmer als Beifahrer zwei Fahrten auf einer zweispurigen Autobahn von jeweils 20 Minuten. Eine Fahrt wurde dabei ohne Beifahrerassistenzsystem durchgeführt (Baseline) und eine Fahrt mit Beifahrerassistenzsystem. Vor der Fahrt mit dem Beifahrerassistenzsystem, wurden Fahrer und Beifahrer gemeinsam in einer Eingewöhnungsfahrt mit der Funktionsweise des Beifahrerassistenzsystems vertraut gemacht. Pro Fahrt wurden die Probanden dann mit drei Bremssituationen und drei Folgesituationen konfrontiert. Jede Situation wurde mit einer konstanten Geschwindigkeit von 130 km/h und einem festgelegten Abstand (THW = 0.3 s, 0.6 s und 0.9 s) erlebt. Diese sehr kurzen Abstände wurden gewählt, da diese im statischen Simulator weniger kritisch als in der Realität wirken können. Dieser Effekt kann durch die fehlende Längsbeschleunigung noch verstärkt werden. Hier wurde vor allem bei den kürzeren Abständen 0.3 s und 0.6 s ein Effekt des Beifahrerassistenzsystems erwartet, da sich hier aufgrund der kleineren Zeitspannen für Reaktionen die subjektive Kritikalität und somit der Diskomfort erhöhen kann. Das kann dazu führen, dass das Bedürfnis größer ist, Informationen über den kognitiven Zustand des Fahrers oder Einfluss auf die Situation zu erhalten.

In den Bremsszenarien erlebten die Teilnehmer eine Folgefahrt in zähfließendem Verkehr. Zu unerwarteten Zeitpunkten wechselte dann ein Fahrzeug der anderen Fahrspur auf die eigene Fahrspur vor ein Vorderfahrzeug. Dadurch wurde das Vorderfahrzeug und folglich auch der eigene Fahrer zu einem Bremsmanöver gezwungen. Die Folgeszenarien ähnelten im Aufbau den Bremsszenarien. Während der Folgefahrt wechselte jedoch kein Fahrzeug auf die eigene Fahrspur.

Zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten erfolgte die Abfolge der Szenarien in permutierter Reihenfolge. Da sich beide Szenarientypen im Aufbau ähnelten, wurden äußerliche Gegebenheiten, wie Fahrzeugarten, Landschaft und Spurposition, leicht verändert, um den Wiedererkennungswert zu reduzieren. Diese Methoden wurden gewählt, um somit auch einen möglichen Erwartungseffekt zu reduzieren, da dieser Erwartungseffekt einen ungewollten Einfluss auf den erlebten Diskomfort des Beifahrers haben könnte.

Der Fahrer war einer von zwei Mitarbeitern der WIVW GmbH, die vorher bezüglich des Fahrstils trainiert wurden. Dadurch konnte eine größtmögliche Standardisierung und Vergleichbarkeit des Fahrstils für jeden teilnehmenden Beifahrer gewährleistet werden. Den Teilnehmern wurde lediglich mitgeteilt, dass der Fahrer ein weiterer Teilnehmer der Studie sei. Daher wurde der Fahrer in der gesamten Studie von der Versuchsleitung wie ein weiterer Teilnehmer behandelt. Mit Hilfe dieser Strategie sollte erreicht werden, dass der Beifahrer weniger Vertrauen in den Fahrer hat, weil dieser aus Sicht des Beifahrers, nicht schon vorher weiß, wie er in den Situationen reagieren muss.

Der Diskomfort wurde mittels subjektiver Ratings nach jedem erlebten Szenario gemessen. Hierzu haben die Beifahrer nach jedem Szenario auf einer 16-stufigen Kategorienunterteilungsskala (von 0 = „überhaupt kein Diskomfort“ bis 15 = „sehr starker Diskomfort“) bewertet, wie hoch der erlebte Diskomfort in der Situation war. Zusätzlich bewerteten die Teilnehmer in einer Nachbefragung allgemein, wie hilfreich das erlebte Beifahrerassistenzsystem ist, um den Diskomfort des Beifahrers zu reduzieren (16-stufige Kategorienunterteilungsskala von 0 = „überhaupt nicht hilfreich“ bis 15 = „sehr deutlich hilfreich“). Außerdem gaben sie an, ob sie ein Beifahrerassistenzsystem sinnvoll finden. Das Design der verschiedenen Varianten der Beifahrerassistenzsysteme wurde auf Basis der oben genannten Theorien abgeleitet. Jede Variante des Beifahrerassistenzsystems bezieht sich dabei auf jeweils einen Teil des Feedback-Loop Models [11] und wird mit einer der oben genannten Hypothesen untersucht.

**Aufmerksamkeit (AK) (Hypothese 1).** Bei dieser Variante des Beifahrerassistenzsystems wurde dem Beifahrer mitgeteilt, dass die Aufmerksamkeit des Fahrers über ein EEG im Schläfenbereich sowie über eine Eyetracking-Brille ermittelt wird. Mit diesen Informationen

sollte bestimmt werden, wie stark die Aufmerksamkeit des Fahrers auf die Straße und das Verkehrsgeschehen gerichtet ist. Diese Informationen zur Aufmerksamkeit wurden dann dem Beifahrer in vereinfachter Form auf einem Display präsentiert. Dieses Display war vor ihm in Höhe der Windschutzscheibe auf dem Armaturenbrett angebracht. Dadurch konnte der Beifahrer die Informationen betrachten, ohne den Kopf zu stark senken zu müssen. Die Informationen waren nur für den Beifahrer sichtbar und wurden mittels farblicher Kodierung, einer prozentualen Anzeige und eines Icons dargestellt (Bild 1). Die Ableitung der Aufmerksamkeit aus den EEG-Daten und Blickbewegungen wurde dem Beifahrer dabei nur simuliert und nicht auf Basis der realen Daten modelliert.

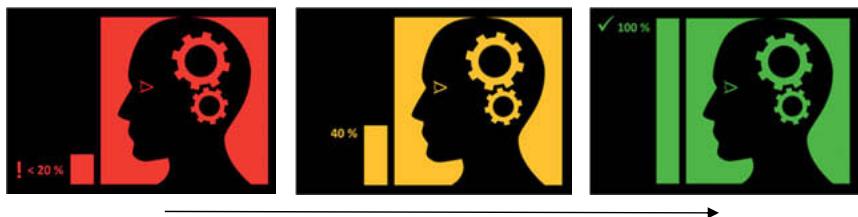


Bild 1: Stufenweiser Anstieg der Aufmerksamkeit des Fahrers wie sie auf dem Beifahrerdisplay präsentiert wird. Rote Visualisierung bei sehr geringer Aufmerksamkeit auf das Verkehrsgeschehen (links), in orange bei leichter Ablenkung (mitte) und in grün bei höchster Konzentration auf den Umgebungsverkehr und die Straße (rechts).

**Sicherheitsabstand (SA) (Hypothese 2).** Diese Variante eines Beifahrerassistenzsystems war für den Fahrer und Beifahrer sichtbar. Hier wurde in der Simulation im Stile eines Head-up-Displays ein grüner semitransparenter Balken vor das Auto auf die Straße projiziert. Die grüne Farbe wurde so lange beibehalten, wie ein ausreichend großer Sicherheitsabstand zum Vordermann eingehalten wurde (Bild 2 links). Hat der Fahrer den Sicherheitsabstand zum Vordermann unterschritten, änderte der Balken seine Farbe zu Rot (Bild 2 rechts). Die rote Farbe signalisiert Fahrer und Beifahrer, dass bei aktuellem Abstand und Geschwindigkeit der Fahrer nicht mehr rechtzeitig auf eine Bremsung des Vordermanns reagieren könnte. Ein Unfall wäre somit nicht mehr vermeidbar. Entgegen der gesetzlichen Vorschriften betrug in dieser Studie der dargestellte Sicherheitsabstand 0.3 Sekunden. Dieser Schwellenwert wurde gewählt, da untersucht werden sollte, ob sich das Beifahrerassistenzsystem positiv auf den erlebten Diskomfort auswirken kann, wenn der kürzeste Abstand präsentiert wird.



Bild 2: Darstellung des Sicherheitsabstandes in Form eines transparenten Balkens auf der Straße, wenn der Sicherheitsabstand eingehalten wird (links) und wenn der Sicherheitsabstand unterschritten wird (rechts).

**Aktive Abstandsbewertung (AAB) (Hypothese 3).** Diese Variante des Beifahrerassistenzsystems war von der Funktionsweise für den Fahrer ähnlich, wie die Variante „Sicherheitsabstand“. Der einzige Unterschied lag darin, dass der Beifahrer bei dieser Variante die Möglichkeit bekam, mit einem versteckten Knopf, selbst bestimmen zu können, wann der Balken seine Farbe zu Rot ändert. Dadurch konnte der Beifahrer selbst entscheiden, wann ihm der Sicherheitsabstand zu gering war und dem Fahrer dies signalisieren. Da dem Fahrer nicht bekannt war, dass der Beifahrer den Farbwechsel bestimmte, war der angezeigte Sicherheitsabstand aus Sicht des Fahrers objektiv und losgelöst von der subjektiven Meinung des Beifahrers.

**Bevorzugter Abstand (BA) (Hypothese 4).** In dieser Variante wurde ähnlich wie bei „Sicherheitsabstand“ ein semitransparenter Balken in der Simulation vor das Auto auf die Straße projiziert. Dieser hatte eine blaue Farbe und behielt diese und seine Form während der Fahrt. Der Balken repräsentierte den bevorzugten Abstand des Fahrers. Dieser bevorzugte Abstand wurde vorher in einer Kalibrierungsfahrt mit Fahrer und Beifahrer eingestellt. Hier wurde der Fahrer gebeten den Abstand einzuhalten, mit dem er sich wohl fühlte und bei dem er der Überzeugung sei, er könne rechtzeitig auf ein Bremsen des Vordermanns reagieren.

**Bremsinformation (BI) (Hypothese 5).** Hier wurden dem Beifahrer Informationen über die Stellung des Gas- und Bremspedals auf dem schon für die Variante „Aufmerksamkeit“ verwendeten Display angezeigt. Auf dem Display wurden ikonisch zwei Stellungen des Gaspedals angezeigt (Bild 3 links und mitte). Ein Icon präsentierte die Stellung, sobald der Fahrer seinen Fuß auf das Gaspedal stellte (Bild 3 links). Das andere präsentierte die Stellung, wenn der Fuß vom Gaspedal genommen wurde, um diesen auf das Bremspedal zu setzen (Bild 3 mitte). Für das Bremspedal wurden drei verschiedene Stellungen als Icons präsentiert, welche die Stärke des Bremsmanövers an den Beifahrer rückmeldeten (Bild 3 rechts).

Gleichzeitig wurde in der Mitte des Display das eigene Fahrzeug mit drei verschiedenen Stufen der Bremslichter, entsprechend zur Stärke der Bremsreaktion, präsentiert.



Bild 3: Darstellung auf dem Beifahrerdisplay, wenn der Fahrer Gas gibt (links), wenn er den Fuß vom Gaßpedal nimmt (mitte) und bei einem stärkeren Bremsmanöver (rechts).

### 3. Ergebnisse

Insgesamt sind die Bewertungen des Diskomforts für alle Bedingungen im mittleren und niedrigen Bereich der Skala. In den Brems- und Folgesituationen ist der Diskomfort jedoch ohne das Beifahrerassistenzsystem höher als mit Assistenzsystem ( $F(1,34) = 48.1, p < .01$ ,  $\eta^2 = .59$ ). Zwischen den Varianten des Assistenzsystems gibt es keinen Unterschied in Bezug auf den erlebten Diskomfort ( $F(4,34) < 1, p = \text{n.s.}$ ). Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Varianten des Beifahrerassistenzsystems getrennt nach Brems- und Folgeszenarien berichtet:

**Bremsszenarien.** Genaue Analysen zeigen, dass der Diskomfort der Teilnehmer mit einem THW von 0.6 s geringer ist, wenn sie mit dem System „Aufmerksamkeit“ (Hypothese 1:  $t(7) = 2.5, p < .05$ ) gefahren sind als ohne System (Bild 4). Der Diskomfort der Beifahrer ist ebenfalls mit dem System „Sicherheitsabstand“ und einem THW von 0.9 s niedriger als ohne System (Hypothese 2:  $t(7) = 3.3, p < .05$ ). Dieser Effekt wurde auch mit einem THW von 0.3 s und dem System „Aktive Abstandsbewertung“ (Hypothese 3:  $t(7) = 4.6, p < .05$ ) gefunden. Für das System „Bevorzugter Abstand“ wurden keine Unterschiede im erlebten Diskomfort zwischen den Teilen mit und ohne Beifahrerassistenzsystem gefunden (Hypothese 4). Während der Fahrt mit dem System „Bremsinformation“ und einem THW von 0.3 s ist der Diskomfort der Beifahrer höher als ohne System (Hypothese 5:  $t(7) = -2.6, p < .05$ ).

**Folgeszenarien.** In den Folgesituationen ist der Diskomfort nur mit dem System „Aktive Abstandsbewertung“ und THWs von 0.3 s (Hypothese 3:  $t(7) = 3.8, p < .05$ ) und 0.6 s ( $t(7) = 2.8, p < .05$ ) geringer als ohne Beifahrerassistenzsystem (Bild 5).

In der Nachbefragung geben 60 % der Teilnehmer an, ein Beifahrerassistenzsystem sinnvoll und 17.5 % der Teilnehmer es teilweise sinnvoll zu finden. Zusätzlich wurde jedes Beifahrerassistenzsystem noch allgemein dahingehend bewertet, wie hilfreich es war, um den Diskomfort zu senken. Mit einer mittleren Bewertung von  $m = 10.3$  ( $sd = 4.2$ ) wird hier das Beifahrerassistenzsystem „Aufmerksamkeit“ als „*deutlich hilfreich*“ und im Vergleich zu den anderen Varianten am hilfreichsten bewertet. Gefolgt wird dieses System von dem System „Sicherheitsabstand“, welches mit einem mittleren Rating von  $m = 9.4$  ( $sd = 3.3$ ) als „*teilweise hilfreich*“ bewertet wird. Die Systeme „Aktive Abstandsbewertung“ und „Bevorzugter Abstand“ werden ebenfalls als „*teilweise hilfreich*“ mit der gleichen mittleren Bewertung von  $m = 8.3$  eingeschätzt ( $sd = 4.8$ ). Das System „Bremsinformation“ wird im Vergleich zu den anderen System am wenigsten hilfreich bewertet. Mit einer mittleren Bewertung von  $m = 7.8$  ( $sd = 4.6$ ) ist es aber noch „*teilweise hilfreich*“ in Bezug auf die Reduktion des Diskomforts.

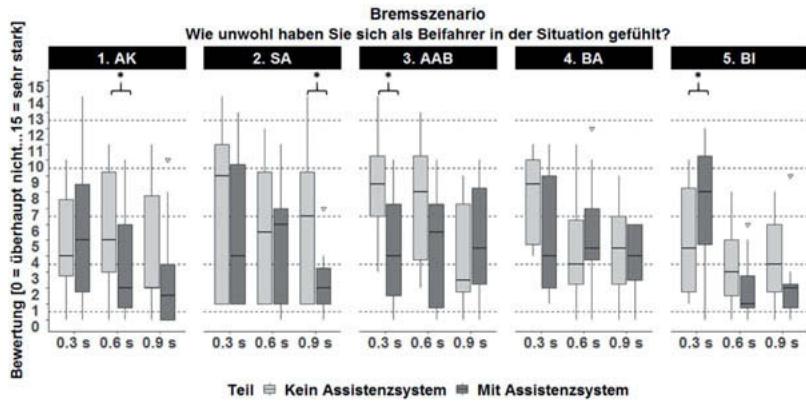


Bild 4: Bewertungen des Diskomforts in den Bremszenarien mit und ohne Beifahrerassistenzsystem pro Variante und Abstand.

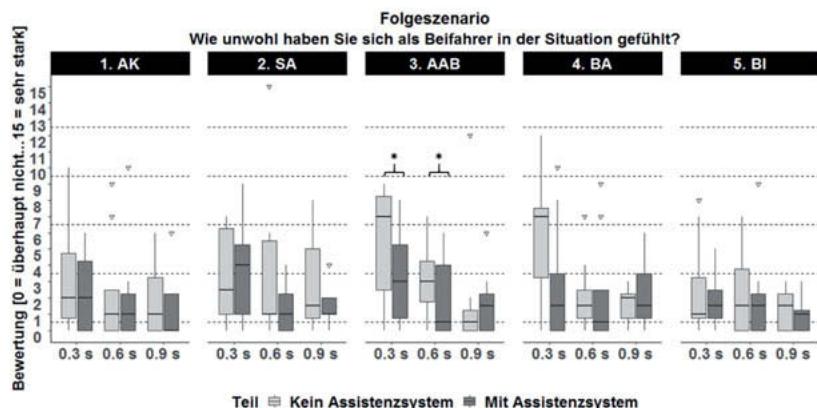


Bild 5: Bewertungen des Diskomforts in den Folgeszenarien mit und ohne Beifahrerassistenzsystem pro Variante und Abstand.

#### 4. Diskussion

Die Ergebnisse bestätigen also teilweise die Hypothesen 1-3. Beifahrer mit einem Beifahrerassistenzsystem erleben bei mittleren Abständen weniger Diskomfort mit der Variante „Aufmerksamkeit“ sowie mit „Sicherheitsabstand“ bei großen Abständen. Das System „Aktive Abstandsbewertung“ führt vor allem bei kurzen und mittleren Abständen zu einer Reduktion des Diskomforts. In der Nachbefragung wird das System „Aufmerksamkeit“ am hilfreichsten bewertet, gefolgt von den Varianten „Sicherheitsabstand“ und „Aktive Abstandsbewertung“. Diese werden noch als „teilweise hilfreich“ in Bezug auf die Reduktion von Diskomfort bewertet. Es kann Beifahrern also helfen ihren Diskomfort zu reduzieren, indem sie Informationen über den kognitiven Zustand des Fahrers erhalten. Diese zusätzlichen Informationen ermöglichen es die Kritikalität der Situation präziser einzuschätzen. (Hypothese 1/2). Zusätzlich führt auch die Möglichkeit Einfluss auf die Situation nehmen können dazu, dass die Kritikalität von Situationen anders eingeschätzt wird und somit weniger Diskomfort entsteht (Hypothese 3). Dieser Effekt wurde vor allem für die zwei kürzeren Abstände gefunden. Die Ergebnisse des Systems „Aktive Abstandsbewertung“ lassen zudem darauf schließen, dass das Vermeiden von kritischen Situationen, verursacht durch geringe Abstände, für den Beifahrer am hilfreichsten ist. Im Falle des Systems „Aktive Abstandsbewertung“ kann der Beifahrer dem Fahrer signalisieren, wenn ihm der Abstand zu klein ist. Somit kann verhindert werden, dass zu nahe Abstände entstehen.

Die Variante „*Bevorzugter Abstand*“ hat keinen Einfluss auf den erlebten Diskomfort (Hypothese 4), während das System „*Bremsinformationen*“ bei kurzen Abständen den Diskomfort sogar erhöht (Hypothese 5). Bei der Variante „*Bremsinformationen*“ ist es möglich, dass die zusätzlichen Informationen über die Stärke des Bremsvorgangs bei kurzen Abständen die Kritikalität der Situation aus Sicht des Beifahrers verstärken könnten. Kurze Abstände führen zu kleinen Zeitfenstern für Reaktionen sowohl in Bezug auf die Bremsreaktion des Fahrers als auch auf eine Reaktion oder Einschätzung der Situation des Beifahrers. Somit ist es möglich, dass in diesem kurzen Zeitfenster die zusätzlichen Informationen über die Stärke des Bremsvorgangs nicht zu einer Reduktion des Diskomforts führen, sondern zu einer Erhöhung aufgrund der hervorgehobenen Kritikalität.

Anzumerken ist die Tatsache, dass der Diskomfort in vielen Situationen ohne Assistenzsystem bereits als „*sehr gering*“ oder „*gering*“ bewertet wurde. Die niedrigen Bewertungen des Diskomforts können möglicherweise dadurch erklärt werden, dass die Situationen im statischen Simulator weniger kritisch wirkten, als in der Realität. Es ist möglich, dass viele Teilnehmer den Fahrstil des Fahrers trotz der niedrigen Abstände immer noch als sicher eingeschätzt haben. Außerdem kann die fehlende Längsbeschleunigung im statischen Simulator zu einer Entschärfung der Situationen geführt haben. Dies kann einen Einfluss auf die Effektgröße des Beifahrerassistenzsystems haben. Deswegen ist es empfehlenswert in zukünftigen Studien den Effekt des Assistenzsystems mit sicherheitskritischeren Fahrstilen zu validieren. Weiterhin könnte die Studie in einem dynamischen Fahrsimulator oder im Realverkehr wiederholt werden, da hier die Längsbeschleunigung vorhanden wäre. Des Weiteren sind die Bewertungen des Diskomforts in den Teilstichproben sehr unterschiedlich. Dies kann darauf hindeuten, dass Beifahrertypen existieren, die unterschiedlich leicht Diskomfort empfinden. Auch hier besteht die Möglichkeit in weiteren Studien den Effekt eines Beifahrerassistenzsystems auf Teilnehmer genauer zu untersuchen, die besonders leicht Angst oder Sorge vor einem Unfall und demnach Diskomfort entwickeln.

Im Bereich des automatisierten Fahrens tritt der Fahrer in höheren Automatisierungsstufen zunehmend in den Hintergrund und wird zum Beifahrer des Fahrzeugs. Auch hier ist denkbar, den potentiellen Diskomfort des Fahrers durch Informationen über den Systemzustand des automatisierten Fahrzeugs zu beeinflussen. Dies würde den Informationen über den Aufmerksamkeitsfokus des Fahrers oder den Sicherheitsabstand entsprechen und könnte dem Fahrer helfen, die Kritikalität einer Situation besser abzuschätzen. Dem Fahrer würde es dadurch leichter fallen, rechtzeitig entscheiden zu können wann er eingreifen muss, da er Informationen über jede aktuelle und zukünftige Aktion des Fahrzeugs vorliegen hätte. Diese Form der Information wurde dem Fahrer beispielsweise in der Studie von Naujoks et al. [3]

präsentiert. Hier wurden zukünftige Aktionen des automatisierten Fahrzeugs, wie z. B. der bevorstehende Spurwechsel aufgrund eines Hindernisses, dem Fahrer auf einem Display mitgeteilt. Zusätzlich geben die Ergebnisse Hinweise darauf, dass es für den Fahrer des automatisierten Fahrzeugs angenehmer sein kann, wenn dieser die Möglichkeit hat, auf den Fahrstil Einfluss zu nehmen. Wie in dieser Studie könnte der Fahrer dann die Option haben, die Sicherheitsabstände des automatisierten Fahrzeuges zu individualisieren. Es könnte außerdem ein vorausschauender Fahrstil konfiguriert werden, der zu geringe Abstände vermeidet, wodurch keine kritischen Ereignisse entstehen würden.

Ein Beifahrerassistenzsystem bietet also die Möglichkeit durch die Darstellung von Informationen oder die Möglichkeit der Einflussnahme des Beifahrers dessen Diskomfort zu reduzieren. Dies kann auch bedeuten, die Fahrsicherheit zu erhöhen. Der Beifahrer könnte zum Beispiel Aspekte der Fahraufgabe übernehmen, wie die zusätzliche Überwachung der Verkehrslage oder die Navigation in komplexen Verkehrssituationen.

## Referenzen

- [1] Owen, R. M. (2016, 01. März). Ferrari GTC4Lusso Released at Geneva. Aufgerufen am 11.06.2016, von <http://ferrarism.com/ferrari-gtc4lusso-released-at-geneva/>.
- [2] Innovative SPLITVIEW Technik: Mercedes-Benz S-Klasse: Zwei Programme auf einem Bildschirm. (2008, 10. Dezember). Aufgerufen am 11.06.2016, von <https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Innovative-SPLITVIEW-Technik-Mercedes-Benz-S-Klasse-Zwei-Programme-auf-einem-Bildschirm.xhtml?oid=9919674/>.
- [3] Naujoks, F., Forster, Y., Wiedemann, K., & Neukum, A. (2017). A human-machine interface for cooperative highly automated driving. In *Advances in Human Aspects of Transportation* (pp. 585-595). Springer, Cham.
- [4] Perterer, N., Meschtscherjakov, A., & Tscheligi, M. (2015). Co-Navigator: an advanced navigation system for front-seat passengers. In *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 187-194). ACM.
- [5] Maurer, B., Trösterer, S., Gärtner, M., Wuchse, M., Baumgartner, A., Meschtscherjakov, A., ... & Tscheligi, M. (2014). Shared gaze in the car: towards a better driver-passenger collaboration. In *Adjunct Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 1-6). ACM.

- [6] Trösterer, S., Wuchse, M., Döttlinger, C., Meschtscherjakov, A., & Tscheligi, M. (2015). Light my way: visualizing shared gaze in the car. In *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 196-203). ACM.
- [7] Meschtscherjakov, A., Perterer, N., Trösterer, S., Krischkowsky, A., & Tscheligi, M. (2017). The Neglected Passenger—How Collaboration in the Car Fosters Driving Experience and Safety. In *Automotive User Interfaces* (pp. 187-213). Springer, Cham.
- [8] Osswald, S., Sundström, P., & Tscheligi, M. (2013). The front seat passenger: How to transfer qualitative findings into design. *International journal of vehicular technology*.
- [9] Drei von zehn deutschen Beifahrern leiden leise. (2013, 14. Februar) . Aufgerufen am 11.06.2016, von <http://about.autoscout24.com/de-de/au-press/au-press-news-as24.aspx?pid=338610>
- [10] Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. New York, NY, USA: Springer.
- [11] Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1960). Plans and the structure of behavior. New York, NY, USA: Holt.
- [12] Endsley, M. R. (1995). Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human factors*, 37(1), 65-84.



# Highly Automated Driving in the Real World – A Wizard-of-Oz Study on User Experience and Behavior

Dipl.-Psych. **C. Marberger**, Dr. **D. Manstetten**,  
Robert Bosch GmbH, Renningen;  
M.Sc. **C. Klöffel**, Universität Würzburg, Würzburg

## Abstract

Past research on human factors of automated driving has primarily focused on human performance aspects in takeover situations after partially or conditionally automated driving periods (SAE L2/3). In this study we investigated user experience and behavioral effects of driving in a highly automated (SAE L4) vehicle in mixed traffic on public roads without unplanned takeovers. The automation feature itself was realized by means of a Wizard-of-Oz approach, involving two trained operators for vehicle and HMI control. Twelve test participants were recruited to experience a series of four highly automated drives of about 30 minutes each. The main research questions were related to how driver attitudes towards automation and system trust develop over time as well as how this affects user behavior with respect to visual attention and engagement in non-driving related tasks (NDRT). The results show that the participants appreciated the automation feature for all road types (urban, rural and motorway scenarios). Positive attitudes towards automation started at an already high level and increased slightly over the course of the driving sessions. Manual analysis of the participants' individual behavior revealed large inter-individual differences for "total time eyes off road" and "frequency of glances towards driving related HMI". Participants did engage in NDRTs between 0 and 93% of the driving time, almost regardless of the driving environment. The explorative study also highlights the benefits and drawbacks of this particular research method. Although the Wizard-of-Oz illusion perfectly worked for all study participants, some critical issues remain to be solved for future applications.

## 1. Introduction

Automated driving technology is advancing at a fast pace. In the future, vehicle manufacturers and mobility providers may potentially offer automated vehicles that take over significant parts of a journey. Whereas today's automation features still depend on the driver as the responsible supervisor, future automated driving systems will potentially be designed to completely release the user from the driving task (see [1]). For each level of automation, human factors research is concerned with specific issues. In lower levels (SAE L1-3) special focus has been dedicated

to human performance in system-initiated control transitions. Decreased availability of a (fallback ready) driver is expected to delay and deteriorate appropriate response towards imminent system limits (see [2]). Numerous studies have shown specific effects for different types of non-driving related tasks (NDRT) (e.g. [3 to 6]) and critical driver states such as sleepiness (e.g. [7], [8]). Human factors research on higher levels of automation (SAE L4/5) are often targeting the issue of external communication (e.g. [9]) or societal acceptance ([10], [11]). The experience of using an L4 automation feature as a user or passenger, however, seems to be covered only by a few studies. One prominent example dates back to 2014, when Mercedes prepared a highly automated driving demonstration on a pre-selected route from Mannheim to Pforzheim in Germany ([12]). Participants of this driving event confirmed that being a passive driver in an automated vehicle felt somehow different than being a passenger in another human driven car. Sitting behind the wheel often made users of the system feel uneasy because of a mixed feeling of being responsible and losing control ([13]).

Regarding the test environment, UX studies on L4 driving experience usually take place in driving simulators of varying validity ([14], [15]) mainly because the technology for real world demonstrations is often not available, too expensive or unsafe to operate in public space. In order to overcome these restrictions Wizard-of-Oz approaches have recently been adopted by research institutes and car manufacturers in order to safely demonstrate future automated driving features. [16] gives an overview of different implementations of the Wizard-of-Oz- approach for automated driving with results from selected projects.

This study builds upon the Wizard-of-Oz technique and focuses on the following research questions:

- How does driver attitude towards L4 automation, system acceptance and trust develop with increased system experience?
- Is a change of these attitudes reflected by behavioral adaptations (e.g. visual attention and engagement in non-driving related tasks)?

## 2. Method

### 2.1 Vehicle setup

For this study, the aim was to demonstrate an L4 automation feature to potential end users in the most realistic way. This requirement implied conducting the study in a real vehicle, on real roads in a realistic contextual setting. To this end, a Wizard-of-Oz vehicle has been prepared, allowing the co-driver (sitting on the right, also referred to as wizard driver) and a human-machine interface (HMI) wizard (sitting in the back) to fully demonstrate an L4 automation feature. The co-driver's environment is equipped with additional (hidden) control devices

for performing lateral and/or longitudinal control as well as other driving related secondary tasks (use of turn indicator, wiper, lights, etc.). The HMI wizard's task is to remotely control the HMI output that is associated with the automation feature. Fig. 1 illustrates the situation inside the vehicle. The HMI was prepared to give feedback on basic system states and additional system information (e.g. current speed limit, type of preceding vehicle, traffic light status, right of way regulation), as shown in Fig. 2.



Fig. 1: Bosch Wizard-of-Oz vehicle: Environment for test participant (left); wizard driver on the co-driver seat (middle); experimenter and HMI wizard on the back seat (right).



Fig. 2: Visual HMI showing basic system states (top row) and additional system information while in L4 automated mode (bottom row). The graphics were displayed on a smartphone device installed in front of the instrument cluster.

## 2.2 Test track and scenario

Teams of wizard drivers and HMI wizards were trained to realistically demonstrate an L4 feature along an 18 km route connecting the two Bosch locations "Schillerhöhe" and "Renningen" in Germany. The ride included different types of roads and traffic environments (see Fig. 3), which translates to about 45% of time spent in urban areas, 40% of time spent on rural roads and about 15% of time spent on motorways. The course was designed to be representative

for a fictive future transfer service between the two locations. The following scenario has been suggested to the test subjects prior to participation:

*"Please imagine you are a Bosch associate working at Schillerhöhe in the year 2025. In the course of your day you have an important appointment with colleagues at Renningen. Luckily, the car fleet offers vehicles with an Autopilot feature. Once you have entered your destination, the car informs you that the route can be driven in fully automated mode. Fully automated driving allows you to spend approx. 30 minutes for your own on this trip. You may prepare yourself for the appointment or do other things you like. Shortly before you reach your destination at Renningen the system asks you to takeover control for parking the vehicle at your desired location."*

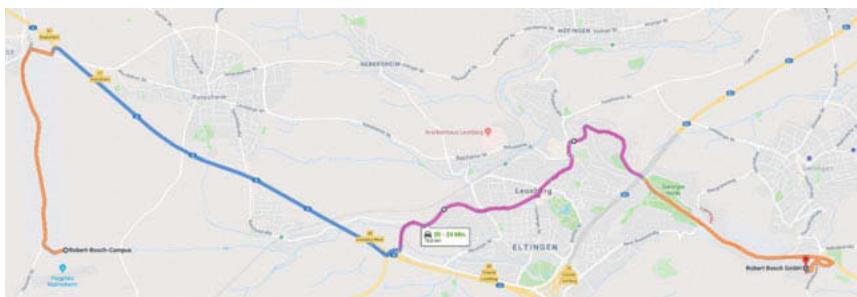


Fig. 3: Test course (amber: rural environment; blue: motorway; magenta: urban environment)

### 2.3 Test sample description

Twelve test subjects were selected among Bosch employees according to a targeted user profile (for more details see Table 1). All participants took part in the study on two separate sessions, each one including two rides (transfer from "Schillerhöhe" to "Renningen" and vice versa).

Table 1: Description of test sample

Gender distribution	4x female, 8x male
Professional background	10x “naïve” with respect to automation technology (Bosch associates working in non-technical areas); 2x specific expertise in either automation technology or UX design
Age range (in years)	1x <30, 3x 30-39, 2x 40-49, 5x 50-59, 1x >60
Annual mileage	Min: 6.000 km, Max: 35.000 km (Median: 21.000 km)

## 2.4 Experimental procedure and data collection

After basic instructions about the functionality of the L4 automation feature and the application scenario, test subjects filled in questionnaires addressing trust in automation (according to [17]), system acceptance (according to [18]) and attitude towards system usage in different environments (self-developed items). These subjective measures were repeatedly taken at specific points in time during the four rides. During the automated driving phase verbal protocols on the user's thoughts about the driving experience were recorded together with several camera views of the vehicle interior and the external driving environment. In manual post processing, audio recordings were transcribed and video data was annotated with respect to gaze direction, NDRT engagement and environmental condition (see Fig. 4).



Fig. 4: Exemplary manual annotation of user behavior during a highly automated driving episode using the software tool Interact (by Mangold International GmbH).

Rather than applying statistical procedures to test differences between experimental conditions, in-depth analysis of individual self-reports and behavior was chosen to learn how visual behavior, engagement in NDRT and attitude towards automated driving develop over time and interact with each other on an individual level.

## 3. Results

### 3.1 Development of user attitudes towards automated driving

For the analysis of attitudes towards automated driving, both experts were excluded as they were aware of the Wizard-of-Oz approach or influenced by their professional background. For the remaining 10 naïve subjects, feedback on the current level of trust in automation was collected 5 times during the course of the individual driving sessions. Fig. 5 shows that all individual trust scores were (clearly) above average, even before having experienced the system.

Similarly, all individual mistrust scores are on a very low level, especially after having experienced automated driving.

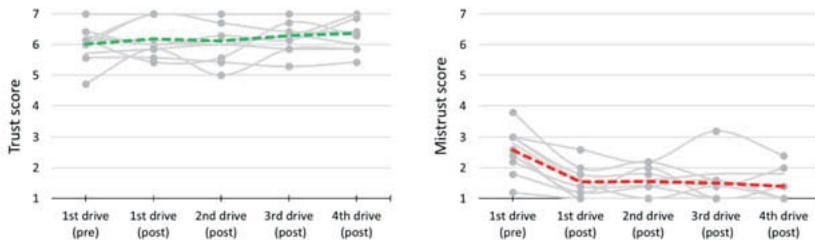


Fig.: 5: Development of trust (left) and mistrust (right) according to the Automation Trust Scale by [17]. Grey dots represent individual ratings; colored/dashed lines represent average scores (n=10).

The acceptance sub-scales usefulness and satisfaction show very positive values throughout the course of the study. This holds for average scores but also for an individual level (see Fig. 6).

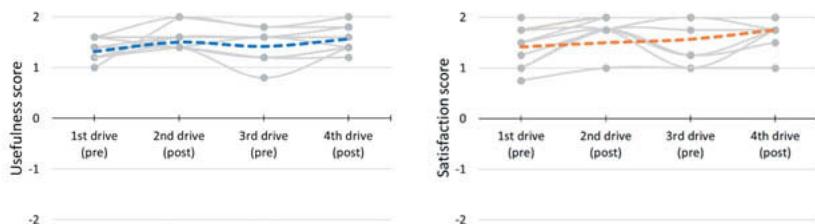


Fig. 6: Development of system acceptance in terms of usefulness (left) and satisfaction (right), scores according to [18]. Grey dots represent individual ratings; colored/dashed lines represent average scores (n=10).

Most participants of the study confirmed high willingness to use an L4 automation feature in all experienced driving environments. Fig. 7 shows average scores (and standard deviations) for four application scenarios, indicating that low speed automation on motorways is consistently seen as being most desirable, but other application scenarios are not far behind.

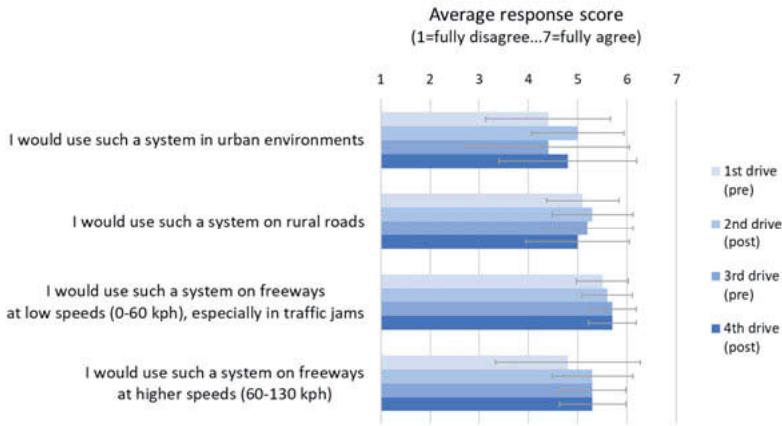


Fig. 7: Attitude towards using the demonstrated L4 automation feature in different driving environments (n=10).

### 3.2 Behavioral adaptation

For the analysis of behavioral adaptations, only data sets that contained 100% information for all consecutive driving sessions were included. This pre-requisite reduced the sample size to n=6, making it even more important to look at data on an individual level.

The off-line analysis of gaze behavior suggests that the percentage of eyes off road time can reach values of up to 70%. Two participants clearly show increasing eyes off road durations with increasing driving experience (see Fig. 8 left). Frequency of gazes towards the instrument cluster (that included the automation related HMI) were in a range from 1 to 5 glances per minute. Systematic linear changes across the series of 4 drives are not apparent (see Fig. 8 right). The main result, however, points towards the huge inter-individual differences in visual behavior.

Manual annotation of the users' active engagement in NDRTs differentiated between the categories 'installed tablet', 'handheld device', 'phone call', 'book/magazine', 'car multimedia' and 'other'. Fig. 9 shows the percentage of time actively spent on any of the categorized NDRTs in dependence of the driving environment. Across all four driving sessions, the 75<sup>th</sup> percentile of active engagement in NDRTs is around 10% of automated driving time. 25% of participants

show increased time shares of NDRT with a single maximum of 93% (see Fig. 9). On a cumulative level, the data do not reveal significant differences between the driving environments urban/rural/motorway.

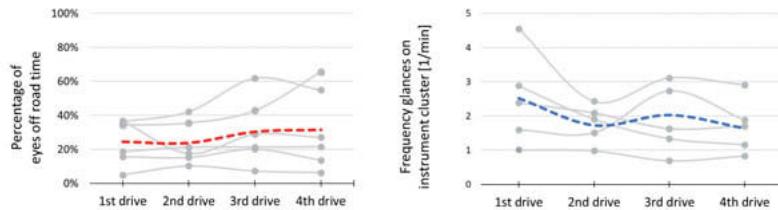


Fig. 8: Individual gaze statistics across a series of four driving sessions. Grey dots represent individual values; colored/dashed lines represent averaged values ( $n=6$ ).

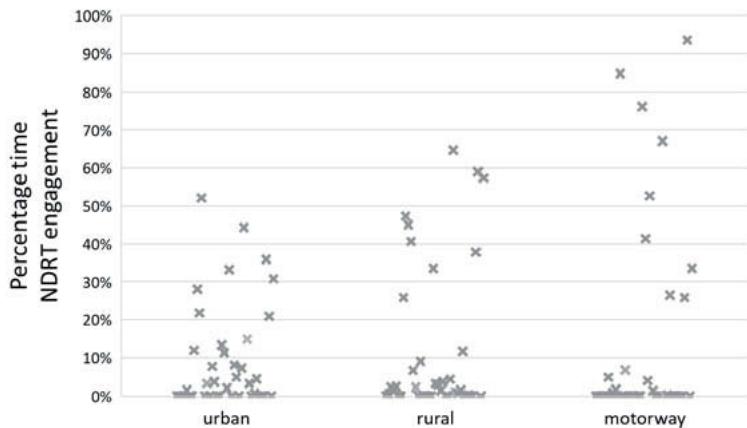


Fig. 9: Percentage of time actively spent on non-driving related tasks (NDRT). Grey crosses represent individual values, cumulated across all 4 driving sessions ( $n=40$ ).

#### 4. Discussion and conclusions

This study focused on exploring individual interaction patterns with an (fictive) L4 automation feature under real-world conditions. Special emphasis was also given to repeated measurements of subjective and objective criteria with respect to human adaptation towards new technology. The results show that all recruited participants appreciated the demonstrated L4 fea-

ture on an almost equally high level for urban, rural and motorway scenarios. Expected hypothesis on behavioral adaptations (e.g. linear development of system trust and associated behavior) could only be confirmed for few individuals or as slight tendency on a cumulative level. As for the behavioral analysis, the main insights refer to the existence of large inter-individual differences.

Apart from the quantitative aspects of user experience and behavior, another important objective of the study was to generate user feedback in order to derive innovative ideas for the design of future automation systems. Based on verbal comments while experiencing a L4 drive in a real environment, a large collection of user requirements could be found. Despite the limitations in reproducing identical conditions for all driving sessions, the Wizard-of-Oz approach has proven to be very effective in this regard. According to basic ethical considerations, the illusion was uncovered at the end of the fourth drive. Until then all naïve test participants were convinced to be driven by a prototype version of a future product. Especially due to the rather long duration of participation (2 appointments à 3 hours, separated by at least one day), some test subjects were clearly disappointed. Taking into account the rather little gain of information by repeated measurements in this study, we would recommend using the Wizard-of-Oz approach for single sessions only with immediate debriefing at the end.

#### 4. Bibliography

- [1] SAE International. (2016) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. (J3016).
- [2] Marberger, C., Mielenz, H., Naujoks, F., Radlmayr, J., Bengler, K., & Wandtner, B. (2017). Understanding and applying the concept of “driver availability” in automated driving. In: International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (pp. 595-605). Springer, Cham.
- [3] Damböck, D.: Automationseffekte im Fahrzeug – von der Reaktion zur Übernahme (Dissertation). Technische Universität München, 2013.
- [4] Naujoks, F., Purucker, C., Wiedemann, K., & Marberger, C. (2019). Noncritical State Transitions During Conditionally Automated Driving on German Freeways: Effects of Non–Driving Related Tasks on Takeover Time and Takeover Quality. *Human Factors*, 61(4), 596-613.

- [5] Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2016). Is takeover time all that matters? The impact of visual-cognitive load on driver takeover quality after conditionally automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 92, 230–239.
- [6] Eriksson, A., & Stanton, N. A. (2017). Takeover time in highly automated vehicles: Non-critical transitions to and from manual control. *Human Factors*, 59, 689–705.
- [7] Weinbeer, V., Baur, C., Radlmayr, J., Bill, J. S., Muhr , T., & Bengler, K. (2017). Highly automated driving: How to get the driver drowsy and how does drowsiness influence various take over aspects? Paper presented at the 8. Tagung Fahrerassistenz, München.
- [8] Feldhütter, A., Kroll, D., & Bengler, K. (2018). Wake Up and Take Over! The Effect of Fatigue on the Take over Performance in Conditionally Automated Driving. Paper presented at the 2018 IEEE 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Hawaii.
- [9] Lee, Y. M., Uttley, J., Solernou, A., Giles, O., Romano, R., Markkula, G., & Merat, N. (2019, June). Investigating Pedestrians' Crossing Behaviour During Car Deceleration Using Wireless Head Mounted Display: An Application Towards the Evaluation of eHMI of Automated Vehicles. In Proceedings of the Tenth International Driving Symposium on Human Factors in Driving Assessment, Training and Vehicle Design (pp. 252-258). University of Iowa.
- [10] Hewitt, C., Politis, I., Amanatidis, T., & Sarkar, A. (2019). Assessing public perception of self-driving cars: the autonomous vehicle acceptance model. In: Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces (pp. 518-527). ACM.
- [11] de Clercq, K., Dietrich, A., Núñez Velasco, J. P., de Winter, J., & Happee, R. (2019). External Human-Machine Interfaces on Automated Vehicles: Effects on Pedestrian Crossing Decisions. *Human Factors*.
- [12] Ziegler, J., Bender, P., Lategahn, H., Schreiber, M., Strauß, T., & Stiller, C. (2014). Kartengestütztes automatisiertes Fahren auf der Bertha-Benz-Route von Mannheim nach Pforzheim. In: Workshop Fahrerassistenzsysteme. Walting, Germany (Vol. 496).
- [13] Bellem, H.: Comfort in Automated Driving: Analysis of Driving Style Preference in Automated Driving (Dissertation), Technische Universität Chemnitz, 2018.

- [14] Helgath, J., Braun, P., Pritschet, A., Schubert, M., Böhm, P., & Isemann, D. (2018). Investigating the Effect of Different Autonomy Levels on User Acceptance and User Experience in Self-driving Cars with a VR Driving Simulator. In International Conference of Design, User Experience, and Usability (pp. 247-256). Springer, Cham.
- [15] Hock, P., Kraus, J., Babel, F., Walch, M., Rukzio, E., & Baumann, M. (2018). How to Design Valid Simulator Studies for Investigating User Experience in Automated Driving: Review and Hands-On Considerations. In Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (pp. 105-117). ACM.
- [16] Manstetten, D., Marberger, C., Beruscha, F. (2019). Wizard-of-Oz experiments in real traffic – can they restart Human Factors? In: Darmstädter Kolloquium „mensch + fahrzeug“, 02. und 03. April 2019, Darmstadt.
- [17] Jian, J. Y., Bisantz, A. M., & Drury, C. G. (2000). Foundations for an empirically determined scale of trust in automated systems. International Journal of Cognitive Ergonomics, 4(1), 53-71.
- [18] Van der Laan, J.D., Heino, A., & De Waard, D. (1997). A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. Transportation Research - Part C: Emerging Technologies, 5, 1-10.



# Müdigkeit und Vigilanz in einer automatisierten Realfahrt

## Fatigue and Vigilance in an Automated Real Driving Scenario

Alexander Frey, M.Sc.

Federal Highway Research Institute (BASt), Bergisch Gladbach

### Kurzfassung

Automatisiertes Fahren stellt veränderte Anforderungen an den Fahrerzustand im Vergleich zum manuellen Fahren. Speziell bei Verwendung von Fahrfunktionen nach SAE Level 2 wird während des automatisierten Betriebs vom Fahrer erwartet, dass er permanent aufmerksam ist und die Fahrzeugsteuerung zu jeder Zeit sicher übernehmen kann. Psychologische Grundlagenforschung deutet darauf hin, dass die menschliche Daueraufmerksamkeitsleistung (Vigilanz) vor allem in langandauernden monotonen Situationen nur schlecht erbracht werden kann. Ursache hierfür ist beispielsweise die sog. *passive, aufgabenbezogene Müdigkeit*. Level 3-Fahrfunktionen hingegen verlangen dem Fahrer keine permanente Vigilanz ab. Er darf sich mit sog. fahrfremden Tätigkeiten beschäftigen, muss jedoch mit zeitlichem Vorlauf als Rückfallebene für die Fahrzeugsteuerung zur Verfügung stehen. Es besteht die Frage, wie sich Fahrermüdigkeit im realen Fahrkontext unter Verwendung einer Level 2-Fahrfunktion darstellt, und ob eine Level 3-Fahrfunktion in der Lage ist, Ermüdungserscheinungen vorzubeugen.

In zwei Fahrversuchen sollten Langzeiteffekte automatisierten Fahrens auf den Fahrerzustand – im Speziellen auf die Ermüdung – messbar gemacht werden. Eine Nettostichprobe von insgesamt 49 Probanden erlebte hierfür eine einstündige automatisierte Realfahrt in einem *Wizard-of-Oz*-Fahrzeug auf einer monotonen Teststrecke. Besonderer Fokus lag dabei auf der objektiven und innovativen Müdigkeitserfassung mittels *Elektroenzephalographie* (EEG) über *Alphaspinde*n. Im ersten Versuch verwendete eine Probandengruppe eine sehr zuverlässige Level 2-Funktion, wohingegen die Funktion für eine andere Gruppe alle acht Minuten Fehler in der Längs- oder Querführung aufwies. So konnte untersucht werden, wie sich der Fahrerzustand abhängig von der Fahrzeit und Zuverlässigkeit einer Level 2-Funktion entwickelt. Im zweiten Versuch (Messwiederholungsdesign) erlebten die Probanden Wechsel zwischen einer Level 2- und einer Level 3-Funktion nach jeweils ca. 30 Minuten Fahrzeit,

wodurch ein unmittelbarer Vergleich des Fahrerzustands in Level 2 mit Level 3 möglich war. Dieser aufwändige und neuartige Forschungsansatz beansprucht experimentelle Kontrolle mit hoher externer Validität zu kombinieren und fand im Rahmen des BMWI-geförderten Projekts „Ko-HAF“ (Kooperatives, hochautomatisiertes Fahren) statt.

Die mittels Alphaspindelrate über den Großteil der Fahrt als ermüdet klassifizierten Probanden wiesen im ersten Versuch eine monoton steigende Ermüdung in den ersten 20 Minuten Fahrzeit auf, wobei mehr als 66 % Varianz der Ermüdungsstärke alleine durch die Fahrdauer aufgeklärt wurde. Die Ermüdungsstärke selbst war nicht signifikant abhängig von der Zuverlässigkeit der Level 2-Funktion. Gleichwohl war eine signifikant erhöhte Reaktionszeit der Probanden auf ein Verlassen des Fahrstreifens nach ca. 50 Minuten Fahrzeit zu beobachten, wenn sie ermüdeten oder zuvor eine sehr zuverlässige Level 2-Fahrt erlebten. Im zweiten Versuch konnte durch eine Level 3-Fahrt eine signifikante Müdigkeitsreduktion im Vergleich zu einer gleichlangen Level 2-Fahrt (innerhalb jeweils 25 Minuten Fahrzeit) erzielt werden, da die Probanden in der Level 3-Fahrt nicht permanent aufmerksam sein mussten, sondern sich mit motivierenden fahrfremden Tätigkeiten beschäftigen konnten.

## Abstract

Automated Driving causes new demands on human's abilities in contrast to manual driving. Especially in SAE Level 2 the driver has to pay permanent attention to take over vehicle's control immediately. Regarding basic research in psychology, humans are not able to maintain permanent attention (their vigilance) in long monotonous situations, because of so called *passive task related fatigue*. However, Level 3 driving functions do not require human's permanent attention: The driver is allowed to perform tasks unrelated to driving but has to be available as a fallback ready user within a time buffer. Research questions focused on the representation of driver's fatigue in a real driving scenario as well as on the compensatory potential of a Level 3 driving function to prevent fatigue symptoms.

Two test drives were performed to measure long-term effects of automated driving on driver's state, particularly on fatigue. A total sample (net) of 49 participants went through a one-hour drive in a *Wizard-of-Oz* vehicle using a monotonous test track. Here, the examination focused on the objective and innovative measurement of fatigue with *electroencephalography* (EEG), in particular by *alpha spindles*. In the first experiment one group of participants used a very reliable driving function, whereas failures in lateral- as well as longitudinal control occurred for another group. This design allowed to investigate driver's state depending on

the driving duration and Level 2 functional reliability. In the second experiment (within subject design) all participants went through transitions between Level 2 and Level 3 after approx. 30 minutes driving to compare driver state in Level 2 and Level 3 directly. This complex and innovative research approach claims the combination of experimental control with high external validity and took place in the course of the BMWi-funded project “Ko-HAF” (Cooperative Highly Automated Driving).

Participants which were classified as “got tired” with the aid of alpha spindles in the first experiment showed a monotonous increase of fatigue in the first 20 minutes of driving, whereby more than 66 % of variance in fatigue intensity could be explained solely by the driving duration. Reliability of Level 2 had no significant effect on intensity of fatigue. Nevertheless, reaction times of participants increased significantly when crossing a lane after approx. 50 minutes of driving, if they were classified as “got tired” or went through a very reliable Level 2 drive before. The second experiment revealed significantly reduced fatigue in a Level 3 compared to the same duration of Level 2 (in each case within 25 minutes of driving), because in Level 3, all participants were unburdened from the task of monitoring and were allowed to perform motivating tasks unrelated to driving.

## 1. Introduction and background

In contrast to manual driving [1], where steering procedures are performed over long durations, the so called *active task related fatigue* could appear [2]. This variant of fatigue is not in the focus of research in automated driving anymore. Rather the *passive task related fatigue* can appear, if a long-term monitoring task must be performed. A SAE Level 2 function demands exactly this task: The driver must monitor the vehicle's longitudinal and lateral control permanently. There is no permission to deal with tasks unrelated to driving. The function itself passes the control to the driver immediately, if a functional boundary is reached or a technical failure occurs.

Permanent attention of drivers (the vigilance) can be strongly reduced – referring to many studies – within 15 to 30 minutes of monitoring (measured under laboratory conditions) [3]. One reason can arise from passive task related fatigue [2]. Consequently, the research question is, if users of automated driving functions (SAE Level 2) also get tired and show a decrease in vigilance. This question addresses one component of the driver's state. In turn, the measurement of driver's state can lead to an estimation of driver's monitoring quality.

Fundamental research indicates that the increase of signal rate during typical vigilance tasks is accompanied with an increase of human's vigilance performance [4]. The interruption of monotony can be a useful explanation: An increase of the signal rate can lead to a reduction of passive task related fatigue [2]. Following this, high reliability of Level 2 (a low signal rate) should result in a high fatigue level and a strong vigilance decrement of the driver.

In contrast to SAE Level 2, the user of SAE Level 3 has not the need to be vigilant all the time to react to manual takeover requests adequately. In Level 3, the automated driving function cares about longitudinal as well as lateral control. The driver is allowed to deal with tasks unrelated to driving, because the function will inform the driver with a time budget about an upcoming manual driving phase. Dealing with tasks unrelated to driving – compared to Level 2 – should not lead to passive task related fatigue. There are exceptions, if the task itself has a high monotony and requires permanent attention [5]. If the task requires moderate load otherwise – the established *Yerkes-Dodson-Law* acts as an example – the driver should maintain an adequate alertness and reduced fatigue level in contrast to Level 2 [6].

## 2. Method

All research questions were addressed in two driving experiments: A test track with a highly monotonous oval course was selected to ensure a low density of visual input. Additionally, all participants should get a realistic impression of vehicle automation. This was realised by means of a *Wizard-of-Oz* test vehicle. The vehicle was modified so that the second driving position was fully separated from participant's seat. The second driver simulating automation remained invisible but guaranteed safety. In this way it was possible to give the best available impression of a sensory-based automation to the participants.

The valid measurement of driver's state, especially the fatigue, was an additional challenge. For both experiments the robust method of alpha spindle analysis using *electroencephalography* (EEG) was chosen [7]. Although this method is very complex, it ensures the prevention of confounding factors based on subjective distortions [8]. The alpha spindles were recorded and analyzed in cooperation with the Daimler AG.

In the first experiment all participants went through an automated drive of approx. 65 minutes, with permanent monitoring (SAE Level 2), whereby no steering wheel contact was intended (hands-off). If automation failures occurred, they should be acknowledged by participants using a pushbutton in their hands. There was no transition to manual driving. In

this way continuously automated driving was realized. The automation failures, deliberately caused by the experimenter from the second driving position (permuted), occurred in longitudinal as well as lateral control: The experimenter drove the vehicle constantly with 70 km/h within the central of three lanes (lap time approx. two minutes) on a test track. Failures were defined as a decrease of speed under 60 km/h, an increase of speed over 80 km/h or when lane markings where crossed to the right or to the left.

All participants were assigned to one of two experimental conditions in randomised order (group A or B). Participants in group A experienced only one single automation failure (lateral displacement) after approx. 50 minutes of the drive – therefore a high functional reliability was simulated. A low functional reliability was simulated in group B by the occurrence of eight automation failures with an interval of approx. eight minutes. The seventh automation failure in group B (lateral displacement) was harmonized to group A in terms of duration of the driving in advance to compare the same points in time (approx. after 50 minutes). Synchronised camera data allowed identifying the occurrence of automation failures in relation to EEG-data.

Overall, data from 35 participants could be analysed. Group A consisted of 18 participants with a mean age of 36 years ( $SE = 3$ ), eight women and ten men with an average mileage per year of approx. 12.100 km ( $SE = 2.400$ ). In total, 17 participants were assigned to group B, with a mean age of 35 years ( $SE = 3$ ), eight women and nine men, with an average mileage of approx. 15.800 km ( $SE = 3.700$ ) in one year.

First of all, the participants were instructed for safety according to the test track requirements and were provided with an overview of the experimental process. After some subjective assessments, the experimenter applied the EEG to the participants. An EEG-system with active electrodes ensured a reliable dissipation due to an electrical shield of every single channel – even in the participant's cabin, where electromagnetic disturbances are usually dominating. After a short manual drive, the experimenter presented automated driving for the first time (over two laps), without monitoring instruction, just for familiarization. Following that, the driving experiment over 33 laps started. After the final assessment, the Wizard-of-Oz method was revealed to all participants and an allowance of 80 Euros was received.

The second experiment took place at the same test track, once again using the Wizard-of-Oz vehicle. Additionally, a *human-machine-interaction concept* (HMI) was now implemented in

the vehicle to make the activation and deactivation of the “automated driving function” available using a steering wheel button. There was also a screen in the instrument cluster to display information about the driving mode (manual driving, automation available, transition between “manual” and “automated”, automated driving, and the transition between “automated” and “manual”). The takeover request to manual driving was additionally highlighted by a salient tone. The experimenter for his part was in control of the HMI as well as activation/deactivation of the simulated automated driving function.

All participants went through an automated drive in accordance to SAE Level 2 (hands-off) as well as to SAE Level 3. While driving in Level 2 – as in case of the first experiment – the permanent need to monitor was established. Although no automation failures occurred, the participants were told to react to failures by pressing a pushbutton. While driving in Level 3, participants were instructed to perform their self-chosen – supposedly motivating – tasks unrelated to driving (e.g. use of a Smartphone, or reading a magazine).

After receiving safety instructions, doing the subjective assessment and applying the EEG, the participants performed several transitions between manual and automated driving and vice versa. After that the participants first randomly went through a Level 2-drive (hands-off) or Level 3-drive over 28 minutes. There was a takeover request to manual driving after every automated period for a duration of approx. two minutes. Following the experiment, all participants completed questionnaires for subjective assessment and received 80 Euros allowance. Overall, the data from 14 participants was available for analysis in the second experiment (six women and eight men) with a mean age of 41 years ( $SE = 4$ ) and an average mileage of approx. 24.600 km ( $SE = 6.800$ ) in one year.

### 3. Results and discussion

First of all, all participants were classified on the basis of their alpha spindle rate over the driving time in “got tired” or “did not get tired”. *Fig. 1* shows the alpha spindle rate over a sliding average window of 300 seconds (referenced on the fifth minute) for all participants which were classified as “got tired”. Higher alpha spindle values are associated with higher fatigue levels. An almost linear increase of fatigue can be noticed up to the 20<sup>th</sup> minute, with no further increase over the experimental duration. A linear regression over the data up to the 20<sup>th</sup> minute showed – with respect to an average over all participants – that the driving duration is able to explain approx. 66 % of variance ( $SE = 6 \%$ ).

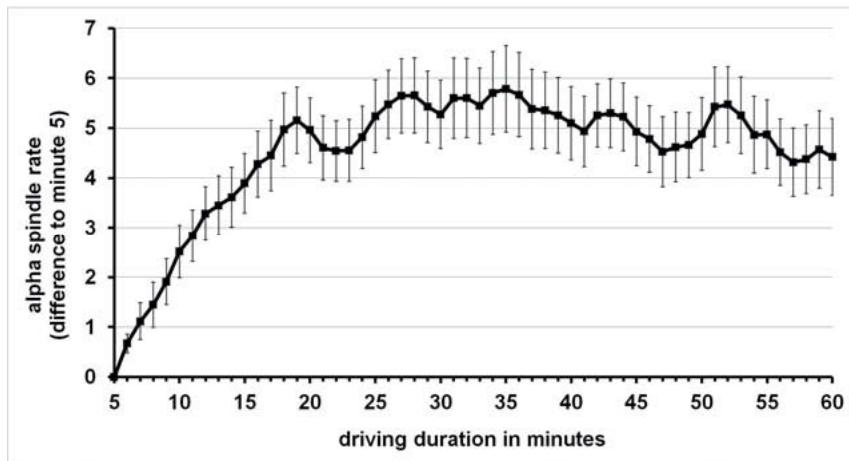


Fig. 1: Mean alpha spindle rate (referenced on the fifth minute) for all participants

classified as “got tired” depending on the automated driving duration. Error bars represent the standard error.

For a comparison between both manipulations of functional reliability, alpha spindle rates of participants classified as “got tired” were aggregated over eight minutes resulting in a total of eight values, which were compared between groups A and B, see *Fig. 2*. A  $2 \times 8$  ANOVA with repeated measures on the second factor did not show any significant difference in the fatigue development depending on the functional reliability ( $F(1, 16) = .18, p = .68, \eta^2 = .01$ ). Once again a significant increase of fatigue for the four first alpha spindle values for both groups was detected ( $F(3, 24) = 13.96, p < .001, \eta^2 = .64$ ). For group A, reduction in fatigue after the automation failure in time area seven should be highlighted – there was a significant recovery of participants between time areas six and eight ( $t(8) = 2.85, p < .05, \eta^2 = .50$ ).

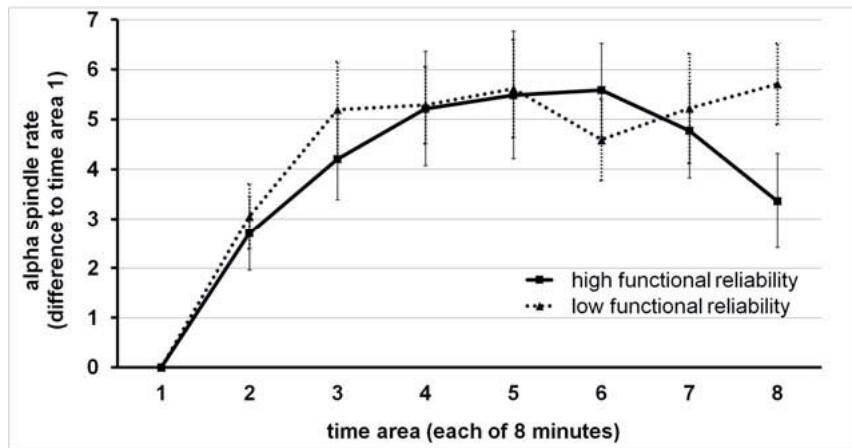


Fig. 2: Mean alpha spindle rate (referenced on the first time area) for all participants classified as “got tired” depending on the time area of the automated drive. One time area contains approx. eight minutes. Error bars represent the standard error.

Fig. 3 represents the reaction times on the lateral displacement separately for group A and B and separated on participant's fatigue (“got tired” vs. “did not get tired”). Although all participants reacted on the lateral displacement, the reaction quality depended on the individual fatigue level as well as on the previous experience with the functional reliability. There were significantly faster anticipatory reactions, if the participants previously received six automation failures, because they had expected this low reliability. A significantly slower reaction was found, if the participants were confronted with an automation failure for the first time ( $F(1, 28) = 8.23, p < .01, \eta^2 = .23$ ). Furthermore, the reaction time significantly depended on participant's fatigue level ( $F(1, 28) = 4.17, p < .05, \eta^2 = .15$ ). The effect of anticipation was lost if participants were confronted with an automation failure for the first time while being tired: These participants did not react until the lane marking had been crossed.

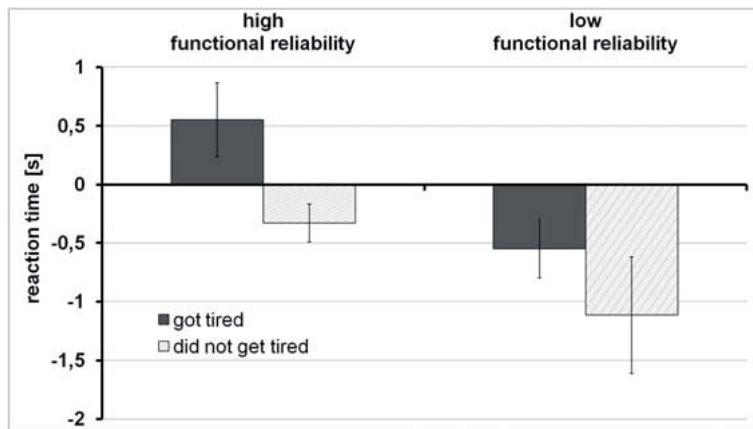


Fig. 3: Mean reaction time to the automation failure after approx. 50 minutes auto-mated driving (time between crossing the lane marking and pressing the pushbutton). Error bars represent the standard error.

It should be noted that the use of an SAE Level 2 can lead to a sharp increase of fatigue within the first 20 minutes of driving. Certainly, the functional reliability did not globally moderate the increase of fatigue over time, but on the basis of the recovery behaviour after approx. 50 minutes of driving – caused by a single automation failure – showed the extent of previous tiredness. This was also revealed by restrictions in reaction quality on the automation failure under a high fatigue level, whereby a low functional reliability can maintain anticipatory abilities. These automation failures (a spontaneous end of control by the automation) can always occur in public traffic when the driving scenario is very complex, precisely because the automation itself is not able to solve this scenario. Consequently, longer Level 2 periods can lead to safety problems in public traffic, because drivers are not able to achieve an adequate monitoring of the function due to monotony and resulting fatigue. A hands-on detection will not solve this problem, because drivers are not at the same time unburdened from the task of monitoring.

In the second experiment, a 28-minute drive in Level 2 (hands-off) was compared to an equivalent duration of Level 3. It was possible to replicate the increase of fatigue according to the first experiment, see Fig. 4. But it was of greater immediate interest, that a Level 3 with motivating tasks unrelated to driving can prevent driver's tiredness within the first 25 minutes, conform to expectations ( $F(1, 13) = 11.14, p < .01, \eta^2 = .46$ ). Subsequently, the alpha spindle rate, respectively the fatigue, increases again.

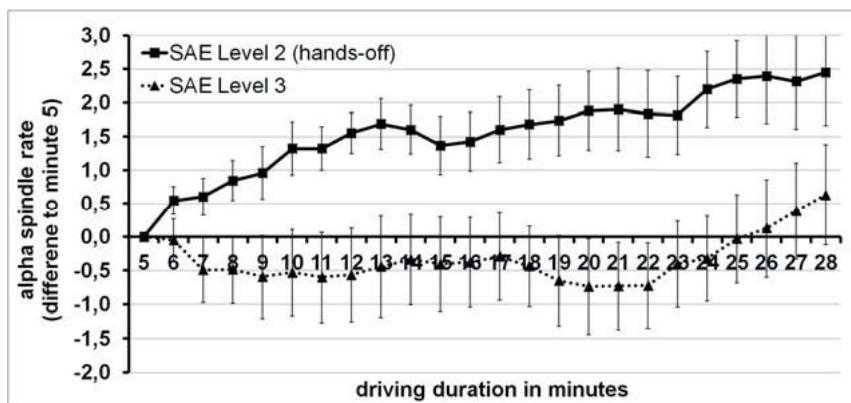


Fig. 4: Mean alpha spindle rate (referenced on the fifth minute) depending on the automated driving duration, separated in Level 2 (hands-off) and Level 3. Error bars represent the standard error.

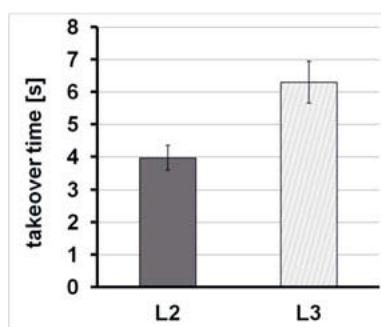


Fig. 5: Mean takeover time after approx. 28 minutes automated driving (Level 2 (hands-off) and Level 3). Error bars represent the standard error.

Regarding the takeover times (time between takeover request to manual driving and the button pressed on the steering wheel for return of control; *Fig. 5*) significantly longer takeover times were measured after Level 3 in contrast to Level 2 ( $t(13) = -5.02, p < .001, \eta^2 = .66$ ). These longer times are explainable with the hand-held tasks unrelated to driving, which have to be consequently put aside. This is not surprising. However, it is very surprising, how much time the participants need in their high fatigue level to regain manual control after Level 2, namely in average approx. four seconds. Though, a SAE Level 2 function would require the immediate takeover of control in this case – the participants needed these four seconds to move their hands from their lap to the steering wheel to push the button. This result indicates equivalent to the first experiment that the drivers' state is insufficient for permanent monitoring and that an adequate response to spontaneous return of control will not be achieved. Whereas a SAE Level 3 is able to support drivers, since activating tasks unrelated to driving are possible as no monitoring of the automated drive is necessary.

#### 4. References

- [1] SAE (2018). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems (Standard No. J3016)*. SAE International, June 2018.
- [2] May, J. F., & Baldwin, C. L. (2009). Driver fatigue: The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 12(3), 218-224.
- [3] Warm, J. S., Parasuraman, R., & Matthews, G. (2008). Vigilance requires hard mental work and is stressful. *Human factors*, 50(3), 433-441.
- [4] Davies, D. R., & Parasuraman, R. (1982). *The psychology of vigilance*. Academic Press.
- [5] Jarosch, O., Kuhnt, M., Paradies, S., & Bengler, K. (2017). It's out of our hands now! Effects of non-driving related tasks during highly automated driving on drivers' fatigue.
- [6] Teigen, K. H. (1994). Yerkes-Dodson: A law for all seasons. *Theory & Psychology*, 4(4), 525-547.
- [7] Simon, M., Schmidt, E. A., Kincses, W. E., Fritzsche, M., Bruns, A., Aufmuth, C., Bogdan, M., Rosenstiel, W., & Schrauf, M. (2011). EEG alpha spindle measures as indicators of driver fatigue under real traffic conditions. *Clinical Neurophysiology*, 122(6), 1168-1178.
- [8] Schmidt, E. A., Schrauf, M., Simon, M., Fritzsche, M., Buchner, A., & Kincses, W. E. (2009). Drivers' misjudgement of vigilance state during prolonged monotonous daytime driving. *Accident Analysis & Prevention*, 41(5), 1087-1093.

# Gestaltung der Interaktion von Fußgängern mit automatisierten Fahrzeugen

## Ergebnisse einer Virtual-Reality Studie

Dr.-Ing. Carmen Kettwich, Dr.-Ing. Janki Dodiya,

M. Wilbrink, Anna Schieben,

Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig

### Kurzfassung

Da in Zukunft automatisierte Fahrzeuge im Mischverkehr eingesetzt werden, müssen sie sicher und effizient mit anderen Verkehrsteilnehmern interagieren. Das EU-H2020-Projekt interACT (<https://www.interactroadautomation.eu/>) arbeitet an der sicheren Integration von automatisierten Fahrzeugen in gemischten Verkehrsumgebungen. Damit automatisierte Fahrzeuge sowohl mit anderen Verkehrsteilnehmern als auch mit den Fahrzeugnutzern kommunizieren können, werden in diesem Projekt neuartige externe Mensch-Maschine-Schnittstellen (eHMI) und interne Mensch-Maschine-Schnittstellen (iHMI) entwickelt.

Der Schwerpunkt dieses Papiers liegt in der Entwicklung und Untersuchung des interACT eHMI. Im Folgenden wird eine Virtual-Reality-Fußgängersimulator-Studie beschrieben, in der drei verschiedene Interaktionsstrategien (intentionsbasierte versus wahrnehmungsbasierte Strategie versus eine Kombination aus intentionsbasierter und wahrnehmungsbasierter Strategie) untersucht und miteinander verglichen werden. Die intentionsbasierte Interaktionsstrategie ist dadurch gekennzeichnet, dass das automatisierte Fahrzeug Informationen über seine nächsten Manöver vermittelt, während die wahrnehmungsbasierte Interaktionsstrategie sich auf die Kommunikation von relevanten detektierten Verkehrsteilnehmern in der Umgebung des automatisierten Fahrzeuges konzentriert. Basierend auf diesen Strategien wurden für jede Interaktionsstrategie zwei unterschiedliche eHMIs entwickelt und getestet. Die eHMIs wurden in jeweils drei urbanen Szenarien, die zwei Kreuzungsszenarien und ein Parkszenario umfassen, mit 27 Probanden untersucht, um herauszufinden, welche Interaktionsstrategie die Probanden bevorzugen und inwiefern sich diese Einschätzung zwischen den einzelnen Szenarien unterscheidet.

### 1. Einleitung

Autofahren erfordert häufig eine sehr intensive Form der Kommunikation und Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern. Hier findet gemeinsames Handeln, Interpretation und Beobachtung statt [1]. Um Unfälle zu vermeiden, müssen die anderen Verkehrsteilnehmer

die beabsichtigte Bedeutung der Intention des anderen Verkehrsteilnehmers verstehen und die Aktion ähnlich interpretieren, um daraus geeignete Handlungen abzuleiten. Häufig geschieht dies über eine Interpretation der Eigenbewegung des Verkehrsteilnehmers. In bestimmten, uneindeutigen Situationen werden zudem zusätzliche Informationen wie zum Beispiel die Blickrichtung, Blickkontakt sowie Gesten eingesetzt, um eine Situation zu interpretieren. Dies geschieht vor allem in niedrigen Geschwindigkeitsbereichen und komplexen Verkehrssituationen [2].

Es kann daher sinnvoll sein, dass auch automatisierte Fahrzeuge explizite Kommunikationshinweise zur Verfügung stellen. Schieben et al. [3] extrahieren vier unterschiedliche Informationsinhalte: Die Information über den Automationsstatus, die Information über die Umweltwahrnehmung durch das automatisierte Fahrzeug (AV), die Information über nächste Manöver des AV sowie Informationen zur Kooperationsfähigkeit. Dafür können unterschiedliche Kommunikationskanäle genutzt werden, z.B. Lichtsignale des AV. Die Lichtsignale sollten einfach, klar, verständlich und leicht erlernbar sein [4]. Im interACT Projekt wurden zwei unterschiedliche Interaktionsstrategien entwickelt [5]. Die wahrnehmungsbasierte Interaktionsstrategie zur Übertragung von Informationen zum nächsten Fahrmanöver sowie zur Kooperationsfähigkeit und die wahrnehmungsbasierte Interaktionsstrategie zur Übertragung von Informationen zur Umweltwahrnehmung des AV. Ziel der vorgestellten Studie war es, beide Strategien anhand einer lichtbasierten externen eHMI in unterschiedlichen Designauslegung zu evaluieren und dabei verschiedene urbane Szenarien zu berücksichtigen. Die wichtigsten Forschungsfragen waren zum einen ob es eine Präferenz der Fußgänger für eine der Interaktionsstrategien und eine bestimmte Designauslegung gibt und zum anderen ob es Unterschiede in den Präferenzen der Interaktionsstrategien zwischen den verschiedenen städtischen Fahrsituationen gibt.

## 2. Methode

### Versuchsumgebung

Für die Durchführung der Usability-Studie wurde der Virtual-Reality-Fußgängersimulator des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig verwendet. Mit Hilfe eines HTC Vive Pro Headsets (siehe Abbildung 1) wurden die Teilnehmer in eine virtuelle Realität versetzt. Unterschiedliche Szenarien und eHMIs wurden in Unreal Engine 4.18.3 implementiert.



Abbildung 1: Proband mit einer Virtual-Reality-Brille versucht das Fahrverhalten eines automatisierten Fahrzeuges zu verstehen

### Ausgewählte Szenarien und eHMI-Design Strategien

Drei urbane Szenarien wurden für die Usability-Studie ausgewählt: Kreuzungsszenario1, Kreuzungsszenario2 und Parkplatzszenario, die in nachfolgender Tabelle (siehe Tabelle 1) detailliert beschrieben sind.

Tabelle 1: Beschreibung der Szenarien der Usability Studie

Szenario	Illustration	Beschreibung
Kreuzungs-szenario1		Städtischer Bereich Keine Querungsanlage Kein Gegenverkehr Automatisiertes Fahrzeug (rot) versucht über eHMI mit dem Fußgänger zu kommunizieren
Kreuzungs-szenario2		Innerstädtischer, nicht signalisierter Knotenpunkt Keine Querungsanlage Kein Gegenverkehr Automatisiertes Fahrzeug (rot) biegt rechts an der Kreuzung ab und versucht über eHMI mit dem Fußgänger zu kommunizieren
Parkplatz-szenario		Städtischer Bereich Automatisiertes Fahrzeug sucht nach einer Parklücke Automatisiertes Fahrzeug (rot) versucht über eHMI mit dem Fußgänger zu kommunizieren

In jedem Kreuzungsszenario kamen den Probanden insgesamt fünf Fahrzeuge entgegen, wobei eines der letzten drei Fahrzeuge automatisiert und mit einem eHMI ausgestattet war. Im Gegensatz zu den vier manuell gesteuerten Fahrzeugen, befand sich in dem automatisierten Fahrzeug kein Fahrer. Die Position des automatisierten Fahrzeuges wurde durch ein Zufallsprinzip festgelegt. Im Parkplatzszenario passierte zuerst ein manuell gesteuertes Fahrzeug den Probanden, welches von einem automatisierten Fahrzeug mit eHMI verfolgt wurde.

Insgesamt wurden folgende Interaktionsstrategien untersucht und miteinander verglichen: Intentionsbasierte versus wahrnehmungsbasierte Strategie versus eine Kombination aus intentionsbasierter und wahrnehmungsbasierter Strategie.

Die intentionsbasierte Interaktionsstrategie lieferte explizite Informationen über die aktuellen und nachfolgenden Fahrmanöver, wie beispielsweise „das automatisierte Fahrzeug bremst“ oder „das Fahrzeug fährt an“. Im Gegensatz dazu zielt die wahrnehmungsbasierte Interaktionsstrategie darauf ab, dem Verkehrsteilnehmer explizite Informationen zu geben, dass sie vom automatisierten Fahrzeug detektierten worden sind. Dies soll Informationen ersetzen, die normalerweise durch die Interpretation von Blickkontakt oder die Interpretation der Kopfrotation in der menschlich-menschlichen Kommunikation ausgetauscht werden [5].

Für jede Interaktionsstrategie wurden zwei unterschiedliche eHMI-Designvarianten entworfen (siehe Tabelle 2). Das eHMI bestand aus einem 360°-LED-Lichtband, das an der Außenseite des Fahrzeugs fest installiert war, und einer gerichteten Signalleuchte, die hinter der Windschutzscheibe in der Position des Rückspiegels montiert war. Die Ansteuerung der LEDs erfolgte einzeln, so dass eine Illumination des Lichtbandes vollständig oder nur segmentweise erfolgen konnte. Durch eine segmentweise Ansteuerung einzelner LEDs konnte durch das Lichtband die Detektion eines oder mehrerer Verkehrsteilnehmer angezeigt werden und deren Positionsänderung relativ zum Fahrzeug auf dem Lichtband dargestellt werden. Im Gegensatz zum Lichtband, war die gerichtete Signalleuchte nur für von dem Fahrzeug detektierte Verkehrsteilnehmer sichtbar, während nicht erkannte oder als nicht relevant eingestufte Verkehrsteilnehmer kein Lichtsignal wahrnehmen können [6]. Die Farbe cyan wurde sowohl für das Lichtband als auch für die gerichtete Signalleuchte verwendet [7].

Tabelle 2: Beschreibung der untersuchten eHMI Designüberlegungen

Stra- tegie	eHMI	Beschreibung der Designüberlegungen
Intentionsbasierte Strategie		<p>Intentionsbasiert1:</p> <p>Das vollständig illuminierte Lichtband begann langsam zu pulsieren (<math>f=0,4\text{Hz}</math>), als das automatisierte Fahrzeug für den Fußgänger zu bremsen begann.</p> <p>Das vollständig illuminierte Lichtband begann schnell zu pulsieren (<math>f=2\text{Hz}</math>), als das automatisierte Fahrzeug beschleunigte.</p>
		<p>Intentionsbasiert2:</p> <p>Das vollständig illuminierte Lichtband wurde beim Bremsvorgang segmentweise langsam ausgeschaltet, bis das Lichtband komplett aus war.</p> <p>Als das automatisierte Fahrzeug wieder beschleunigte, wurden die LEDs segmentweise angeschaltet, bis das Lichtband komplett illuminiert war.</p>
Wahrnehmungsbasierte Strategie		<p>Wahrnehmungsbasiert1:</p> <p>Erkannte das automatisierte Fahrzeug einen Fußgänger, dann wurde ein Lichtsegment in Richtung des Fußgängers eingeschaltet. Bewegte sich der Fußgänger, dann begann sich das Lichtsegment zu bewegen und folgte dabei dem Fußgänger</p>
		<p>Wahrnehmungsbasiert2:</p> <p>Die gerichtete Signalleuchte wurde angeschaltet, sobald das automatisierte Fahrzeug einen Fußgänger erkannt hatte. Sie war nur für den detektierten Fußgänger sichtbar und verfolgte diesen. Sobald der Fußgänger für das automatisierte Fahrzeug nicht mehr relevant war, wurde sie ausgeschaltet.</p>

Strategie	eHMI	Beschreibung der Designüberlegungen
Kombination aus intentionsbasierter und wahrnehmungsbasierter Strategie		<p>Kombination1:</p> <p>Dies war eine Kombination aus den Designüberlegungen Intentionsbasiert2 und Wahrnehmungsbasiert1.</p> <p>Das vollständig illuminierte Lichtband wurde beim Bremsvorgang langsam segmentweise ausgeschaltet, bis das Lichtband komplett aus war.</p> <p>Danach wurde ein Lichtsegment in Richtung des Fußgängers eingeschaltet.</p> <p>Bewegte sich der Fußgänger, dann begann sich das Lichtsegment zu bewegen und folgte dabei dem Fußgänger.</p> <p>Als das automatisierte Fahrzeug wieder beschleunigte, wurden die LEDs wieder segmentweise angeschaltet, bis das Lichtband komplett illuminiert war.</p>
		<p>Kombination2:</p> <p>Dies war eine Kombination aus den Interaktionsstrategien Intentionsbasiert1 und Wahrnehmungsbasiert2.</p> <p>Das vollständig illuminierte Lichtband begann langsam zu pulsieren, als das automatisierte Fahrzeug für den Fußgänger zu bremsen begann.</p> <p>Die gerichtete Signalleuchte wurde angeschaltet, sobald das automatisierte Fahrzeug einen Fußgänger erkannt hatte. Sie war nur für den detektierten Fußgänger sichtbar. Sobald der Fußgänger für das automatisierte Fahrzeug nicht mehr relevant war, wurde sie ausgeschaltet.</p> <p>Das vollständig illuminierte Lichtband begann schnell zu pulsieren, als das automatisierte Fahrzeug beschleunigte.</p>

### Abhängige und unabhängige Variablen

Abhängige Variablen waren die sechs, in Tabelle 2 näher beschriebene eHMIs, sowie die drei unterschiedlichen Szenarien (siehe Tabelle 1). Als unabhängige Variablen wurden die Bewertung des eHMI hinsichtlich des Akzeptanz, auf einer sechs-stufigen-Likert-Skala sowie ein Ranking des Designvarianten hinsichtlich der Präferenz erhoben. Weiterhin wurden die Studienteilnehmer gebeten, dass für sie intuitivste HMI zu ermitteln.

## Experimentaldesign und Stichprobe

Ein Within-subject Design wurde gewählt, bei dem jedem Probanden alle sechs eHMIs in drei Szenarien präsentiert wurden. Sowohl die Reihenfolge der einzelnen Szenarien wie auch die Reihenfolge der eHMIs waren randomisiert. An der Studie nahmen insgesamt 27 Teilnehmer, darunter 14 Männer und 13 Frauen, im Alter von 20-67 Jahren (Mittelwert= 34,4, SD=13,0) teil. Keiner der Teilnehmer hatte bereits Erfahrungen mit einem eHMI.

## Durchführung

Nach einer kurzen Einführung in den Versuch und dem Ausfüllen eines demographischen Fragebogens, bekamen die Probanden Zeit sich an die VR-Brille zu gewöhnen und sich mit der virtuelle Realität vertraut zu machen. Die Teilnehmer erlebten die Szenarien aus der Perspektive eines Fußgängers und befanden sich zu Beginn des Szenarios auf einem Gehweg. Sie konnten sich in der virtuellen Welt umschauen und sich frei in der Szene bewegen. Ihre Aufgabe bestand darin, eine Entscheidung zu treffen, die Straße zu queren. Die Fahrbahn sollte allerdings nur betreten werden, wenn sich die Probanden bei der Querung sicher fühlten. Nach einer Baseline, in der es keine, mit einem eHMI ausgestattete, automatisierte Fahrzeuge gab, wurden die Probanden gebeten, auf das Erscheinen des automatisierten Fahrzeuges zu warten und darauffolgend aufgrund des eHMIs eine Querungsentscheidung zu treffen. Dies wurde in der VR durch das Betreten und Queren der virtuellen Fahrbahn durch den Probanden angezeigt. Nach Präsentation der einzelnen eHMIs wurde ein kurzes Interview durchgeführt. Die Probanden wurden gebeten, die verschiedenen eHMIs zu bewerten. Die verschiedenen eHMIs wurden den Teilnehmern erst nach der naiven Bewertung dieser vorgestellt. Nach Erläuterung der einzelnen Interaktionsstrategien wurden die Probanden gebeten, die eHMIs für jedes Szenario zu ranken und das für sie intuitivste eHMI-Design unabhängig vom Szenario auszuwählen.

## 3. Ergebnisse

Abbildung 2 stellt die Mittelwerte der subjektiven Bewertung für jedes eHMI dar. Die Bewertungen der einzelnen Items unterschieden sich nicht signifikant zwischen den eHMIs. Die eHMI Designauslegungen wurden überwiegend als „für den Teilnehmer bestimmt“ sowie als „aufmerksamkeitsregend“ bewertet. Die Designauslegungen Intentionsbasiert1, Wahrnehmungsbasiert1 sowie die Kombination2 wurden als etwas weniger irritierend bewertet als die anderen Varianten. Interessanterweise wurde das eHMI Intentionsbasiert1, die keine intendierte Information zur Umfeldwahrnehmung enthält, in der Frage „eHMI hat

„mich detektiert“ ähnlich bewertet wie die Designauslegung Wahrnehmungsbasiert1, die diese Information gezielt übertragen soll. Mit Ausnahme des Designs Kombination2 wurden die weiteren Designauslegungen nicht eindeutig als Signal zum Queren der Fahrbahn interpretiert, allerdings wurde korrekterweise verstanden, dass kein Signal zum Stehen bleiben an den Fußgänger gesendet wurde. Hinsichtlich der Verständlichkeit, Vertrauenswürdigkeit, Zuverlässigkeit und Präzision wurden alle eHMI im mittleren Bereich bewertet, wobei die Kombination2 am besten abschnitt.

Im Allgemeinen wurde die Designauslegung Kombination2, die eine Kombination aus intentions- und wahrnehmungsbasierter Interaktionsstrategie darstellt, über alle Items hinweg am besten bewertet. Darüber hinaus wurden die Designauslegungen Intentionsbasiert1 und Wahrnehmungsbasiert2 gut bewertet, während die Designauslegungen Intentionsbasiert 2 insgesamt nicht so gut bewertet wurde. Die Bewertung scheint somit eher an der konkreten Designauslegungen als an der gewählten Interaktionsstrategie (intentions- versus wahrnehmungsbasiert) orientiert gewesen zu sein, da keine signifikante Präferenz für eine Interaktionsstrategie erkennbar ist.

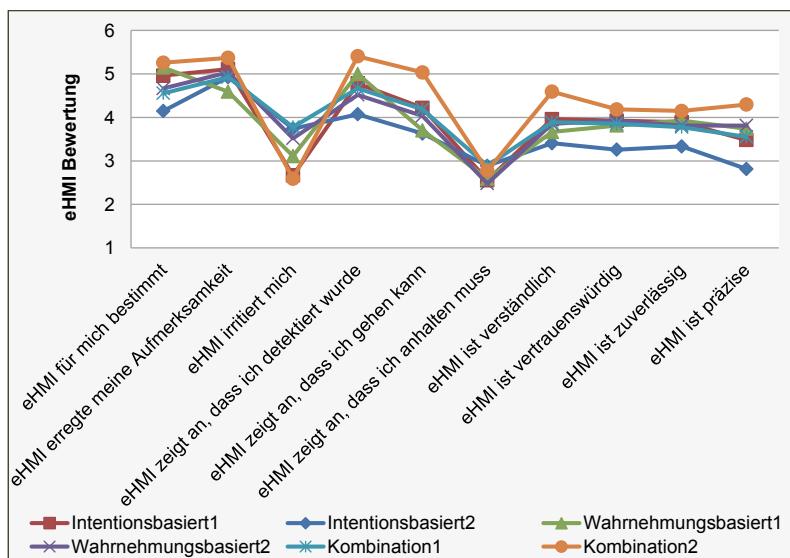


Abbildung 2: Subjektive Bewertung der eHMI gemittelt über alle Teilnehmer unabhängig von den Szenarien (1 = stimme überhaupt nicht zu, 6 = stimme vollkommen zu)

In Abbildung 3 ist die Auswertung des Rankings zur persönlichen Präferenz dargestellt. Es konnte kein Unterschied im Ranking der verschiedenen eHMIs zwischen den drei Szenarien festgestellt werden. Am besten schnitt die Kombination aus intentions- und wahrnehmungsbasierten Interaktionsstrategien ab. Das eHMI Kombination2, bestehend aus einem pulsierenden Lichtband und einer gerichteten Signalleuchte, war in allen Szenarien die bevorzugte Interaktionsstrategie, gefolgt von Kombination1, die sich aus einer animierten, sich segmentweise auflösenden Illumination des Lichtbandes und einem dynamischen Lichtsegment zusammensetzt. Die intentionsbasierten Interaktionsstrategien (Intentionsbasiert1 und Intentionsbasiert2) lagen auf den hinteren Rängen. Intentionsbasiert2 wurde am wenigsten präferiert. Die Personen scheinen also eine Präferenz für eine Designauslegung mit höherer Informationsdichte (Designauslegungen Kombination 1 und 2) im Vergleich zu den einfachen Designauslegungen zu zeigen. Weiterhin präferieren sie Designauslegungen, die eine Information zur Umweltwahrnehmung beinhalten (Wahrnehmungsbasiert 1 und 2). Dies spiegelt sich allerdings nicht konsequent in den subjektiven Bewertungen des eHMIs (Abbildung 2) wider, die nach der Ersterfahrung mit den Designs (naiv) vorgenommen wurden.

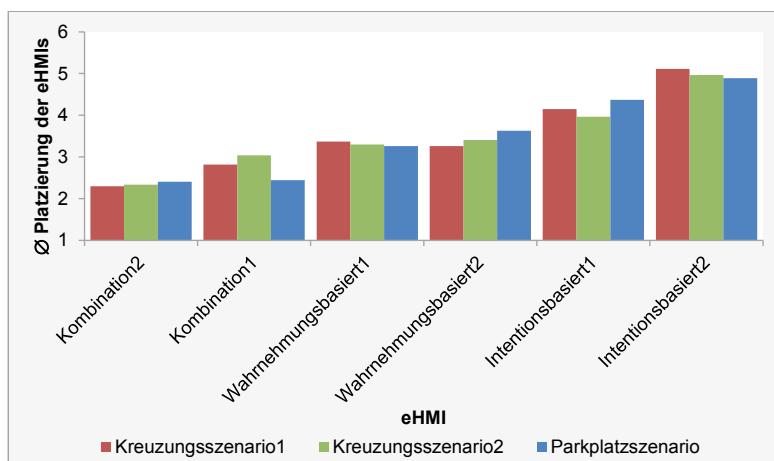


Abbildung 3: Durchschnittliches Ranking der eHMIs (je besser die Bewertung der eHMIs, umso niedriger die Platzierung)

Abbildung 4 stellt die Bewertung der Intuitivität für die einzelnen eHMI-Interaktionsstrategien dar. Die eHMIs Wahrnehmungsbasiert1 und Kombination2 waren für 33% der Probanden am intuitivsten zu verstehen.

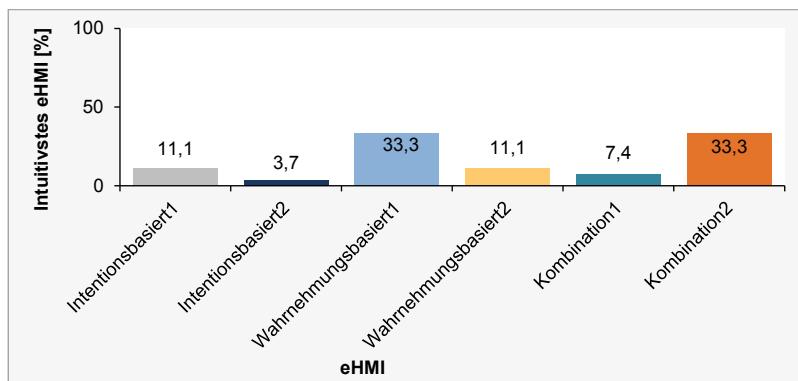


Abbildung 4: Bewertung des intuitivsten eHMI Designs unabhängig vom Szenario

#### 4. Diskussion

Sechs verschiedene lichtbasierte eHMIs wurden in drei verschiedenen Szenarien in einem Virtual-Reality-Fußgängersimulator untersucht und miteinander verglichen. Im Allgemeinen konnten kaum Unterschiede zwischen der naiven Bewertung der verschiedenen eHMIs festgestellt werden. Trotz geringer Unterschiede zwischen den einzelnen Bewertungen der eHMI Designauslegungen, wurden die Kombinationen aus intentions- und wahrnehmungsbasierter Interaktionsstrategie am besten bewertet. Unterschiede zwischen den eHMIs wurden in den Ranking und der Bewertung des intuitivsten eHMIs festgestellt, nachdem den Probanden die verschiedenen eHMIs erläutert worden waren.

Kombinationen aus intentions- und wahrnehmungsbasierten Interaktionsstrategien wurden von den Teilnehmern präferiert im Vergleich zu Interaktionsstrategien, in denen nur eine Komponente (Lichtband oder gerichtete Signalleuchte) verwandt wurde. Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse der Studie folgendes:

- Die Teilnehmer präferieren Designauslegungen mit höherer Informationsdichte, d.h. die Kombinationen aus wahrnehmungs- und intentionsbasierter Interaktionsstrategie.
- Eine klare Präferenz für eine der Interaktionsstrategien kann nicht festgestellt werden. Die Bewertung scheint stärker von der konkreten Designauslegung abzuhängen.

- Die Interaktionsstrategien funktionieren über unterschiedliche urbane Szenarien, die in der Studie getestet wurden hinweg. Dies ist wichtig, da eine Standardisierung der eHMI Lichtsignale angestrebt werden sollte, die gleiche Signale für Fahrzeuge unterschiedlicher Hersteller als auch für ähnliche Verkehrsszenarien umfasst, um die Erlernbarkeit der Signale zu gewährleisten.

Im weiteren Projektverlauf werden die Interaktionsstrategien in realen Demonstratorfahrzeugen implementiert. Es wird eine Kombination aus intentionsbasierter Interaktionsstrategie (Intentionsbasiert1) und wahrnehmungsbasierter Interaktionsstrategie (Wahrnehmungsbasiert2) umgesetzt. Diese werden in weiteren Evaluationsstudien erprobt. Die einzelnen Komponenten, pulsierendes Lichtband und gerichtete Signalleuchte, können zusammen, wie auch getrennt als Stand-Alone-Lösungen evaluiert werden. Die Untersuchung der eHMIs erfolgt durch Nutzerstudien in Simulatoren, auf Teststrecken sowie im Realverkehr. Es werden positive und negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit, Effizienz, Benutzerfreundlichkeit wie auch die Akzeptanz untersucht.

## Literaturverzeichnis

- [1] Swan A.L., Owens B.M. (1988) The social-psychology of driving behaviour: communicative aspects of joint-action. *Mid-Am Rev Sociol* 13(1):59–67.
- [2] Dietrich, A., Bengler, K., Portouli, E., Dimitris, N., Ruenz, J., Wu, J., ... Camara, F. (2018). interACT: D2.1 Preliminary description of psychological models on human-human interaction in traffic.
- [3] Schieben, A., Wilbrink, M., Kettwich, C., Madigan, R., Louw, T., & Merat, N. (2019). Designing the interaction of automated vehicles with other traffic participants: design considerations based on human needs and expectations. *Cognition, Technology & Work*, 21(1), 69–85.
- [4] Weber, F., et al. (2019). InterACT D4.2: Final interaction strategies for the interACT Automated Vehicles.
- [5] Wilbrink, M., Schieben, A., Kaup, M., Willrodt, J., Weber, F., & Lee, Y. (2018). InterACT D4.1: Preliminary human-vehicle interaction strategies for the interACT AVs.
- [6] Willrodt, J.-H., Strothmann, H., & Wallaschek, J. (2017). Optical car-to-human Communication for Automated Vehicles. In 12th International Symposium on Automotive Lighting, (p. 579–588.).
- [7] Tiesler-Wittig, H., Lighting for Automated Driving - Functional application, regulatory requirements and their future opportunities, International Conference and Exhibition SIA VISION (pp. 215–223), 2018



# HMI for external communication – Kann die Fahrzeuggbewegung als Kommunikationskanal zwischen einem Fahrzeug und einem Fußgänger dienen?

**Dr. Ina Othersen**, Volkswagen Aktiengesellschaft, Wolfsburg;  
**Stephanie Cramer**, AUDI AG, Ingolstadt;  
**Carmen Salomon**, Spiegel Institut Ingolstadt GmbH, Ingolstadt

## Kurzfassung

Infolge des Einsatzes höher automatisierter oder gar autonomer Fahrzeuge (SAE Level 4+, [7]) kann sich durch das Auftreten von Mischverkehr die Komplexität im Straßenverkehr potentiell erhöhen. Dabei stellt sich die Frage, wie die umgebenden Verkehrsbeeteiligten mit diesen Fahrzeugen kommunizieren und interagieren können bzw. wie sich heutige Kommunikationsstrategien mit dem Einsatz von automatisch und autonom fahrenden Fahrzeugen verändern werden. In diesem Fall ist vor allem die Kommunikation zwischen einem Fahrzeug und einem schwächeren Verkehrsbeeteiligten (kurz: VRU, z.B. Fußgänger, Fahrradfahrer o.ä.) von Interesse und im Spannungsfeld mit den Möglichkeiten von höheren Automationsstufen näher zu betrachten.

Der vorliegende Beitrag beschreibt eine Realfahrtstudie zur Evaluation der Fahrzeuggbewegung als Kanal für die informelle Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und einem VRU. Hierbei stand die Wahrnehmbarkeit und Verständlichkeit der Kommunikationsvarianten (Fahrzeugverhalten und visuelle Anzeigen) im Fokus. Die Studie wurde mit 31 Probanden (58% weiblich) auf einem Prüfgelände der AUDI AG durchgeführt. Neben subjektiven Bewertungen wurde die Datenbasis durch die objektive Variable der Überquerungsbereitschaft angereichert.

Die Ergebnisse konnten u.a. zeigen, dass bei vorhandener Nickbewegung die Probanden bereits 10m früher die Straße überqueren (*Baseline* bei 31,8m Entfernung vs. *Nicken* bei 41,4m) würden, da dies als stärkeres Bremsen interpretiert wurde. Objektiv zeigte sich zudem kein Effekt für die visuellen Anzeigen, welche subjektiv aber als positiv und wünschenswert bewertet wurden. Außerdem gaben die Probanden an, dass sich die Art und die Modalitäten der Kommunikation nach Komplexität bzw. Kritikalität der Situation unterscheiden sollten.

## Abstract

The use of fully automated or even autonomous vehicles (SAE Level 4+, [7]) potentially increases the complexity of road traffic due to the occurrence of mixed traffic. This raises the question of how the surrounding road users can communicate and interact with these vehicles and how today's communication strategies will change through the use of automatic and autonomous vehicles. The communication between a vehicle and a vulnerable road user (in short: VRU, e. g. pedestrian, cyclist, etc.) is of interest and has to be examined more closely in this context with regards to the possibilities of higher automation levels.

This paper describes a real-driving study evaluating vehicle motion as a channel for informal communication between the vehicle and a VRU. The focus was on the perceptibility and comprehensibility of the communication variants (vehicle behavior / pitching and visual displays). The study was conducted with 31 participants (58% female) on a test site of the

AUDI AG. In addition to subjective assessments, the willingness to cross was used as an objective database.

The results showed that the participants would cross the road 10m earlier (*baseline* at a distance of 31.8m vs. *pitching* at 41.4m) if pitching was present, as this was interpreted as a stronger braking. Objectively there was no effect on the visual displays, which were subjectively evaluated as positive and desirable. In addition, the participants stated that the type and modalities of communication should differ according to the complexity or criticality of the situation.

## 1. Einleitung und Hintergrund

Im Zuge der zunehmenden Automatisierung der Fahrzeugführung, der immer höheren Komplexität der Verkehrsszenarien und der Interaktion zwischen Verkehrsbeteiligten werden neue Möglichkeiten der Kommunikation betrachtet (z.B. [4], [11]). Höhere Automationsstufen werfen die Frage auf, wie die umgebenden Verkehrsbeteiligten mit diesen Fahrzeugen kommunizieren und interagieren können bzw. wie sich heutige Kommunikationsstrategien durch den Einsatz von automatisch und autonom fahrenden Fahrzeugen verändern werden. Dabei ist vor allem die Kommunikation zwischen einem Fahrzeug und einem schwächeren Verkehrsbeteiligten (kurz: VRU, z.B. Fußgänger, Fahrradfahrer o.ä.) von Interesse und im Spannungsfeld mit den Potenzialen von höheren Automationsstufen näher zu betrachten.

Heutige Kommunikation im Straßenverkehr besteht neben einer formellen Kommunikation, welche in expliziten Regelungen (z.B. Straßenverkehrsordnung (StVO)) festgelegt ist, auch aus informellen Kommunikationswegen. Dabei werden vor allem nicht eindeutige Situationen zwischen den Menschen verhandelt und eigene Wege der Kommunikation gefunden (z.B. Lichthupe oder Gestik). Neben diesen menschenbasierten Zeichen zur Kommunikation können jedoch zur Informationsvermittlung auch fahrzeugbasierte Zeichen herangezogen werden. Studien konnten dazu zeigen, dass Fußgänger nicht einfach vor ein Fahrzeug treten, sondern vielmehr das Fahrzeugverhalten genau beobachten und ihre eigene Handlung dagegen absichern [9]. Wichtige Einflussgrößen sind hier vor allem die Geschwindigkeit [6] [8], die Distanz [6] [8], die klare Verzögerung des Fahrzeuges [8] sowie das Fahrverhalten bzw. die Fahrzeugbewegung [2] [6].

Um potentielle Lücken bei der Informationsweitergabe und Kommunikation zwischen autonomen Fahrzeugen (AF) und VRU zu schließen sowie eine Erhöhung der Akzeptanz, des Vertrauens und der subjektiven Sicherheit bei der Interaktion mit AFs zu erreichen, wird derzeit ein externes Human-Machine-Interface (eHMI) zur expliziten Kommunikation diskutiert. Ziel ist es, das derzeitige HMI aus dem Innenraum nach außen zu erweitern, um beidseitige Handlungsempfehlungen zwischen Verkehrsbeteiligten sowie die Erkennung von Intentionen zu ermöglichen. Erste Studien konnten bereits zeigen, dass sich durch die Ergänzung der Interaktion mit einem eHMI das Komfort- und Sicherheitsempfinden erhöht [1]. Die Verwendung eines eHMIs ist aber nur eine Möglichkeit. Auf der anderen Seite gibt es jedoch auch den Ansatz das zuvor erwähnte Fahrzeugverhalten als impliziten Kommunikationsweg zu nutzen, da es den Verkehrsbeteiligten bereits bekannt vorkommt und auch aus unterschiedlichen Blickwinkeln und Abständen sichtbar ist [3] [5]. Da jedoch beide Ansätze einzeln auch potentielle Nachteile haben können, wie z.B. eine Unterschätzung des Fahrzeugverhaltens in Abhängigkeit zu Faktoren wie Tageszeit, Wetterbedingung und

Geschwindigkeit [10], kann eine Kombination impliziter und expliziter Kommunikation möglicherweise bereichernd sein.

Im Rahmen dieses Beitrages wird eine Realfahrtstudie näher vorgestellt, welche die Fahrzeugbewegung als Kanal für die Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und einem VRU näher beleuchtet hat. Dabei standen die Wahrnehmbarkeit und Verständlichkeit der Kommunikationsvarianten (Fahrzeugverhalten und visuelle Anzeigen) sowie die Frage im Fokus, wie sich verschiedene Kommunikationskanäle beeinflussen – insbesondere bei Störeinflüssen (*Missmatch* zwischen Bewegung und Anzeige).

## 2. Empirische Untersuchung

### 2.1. Studiensempling und Kommunikationsvarianten

Bei der hier beschriebenen Studie handelt es sich um eine Realfahrtstudie mit Innersubjekt Versuchsdesign. Die Probanden erlebten im Szenario „Straße überqueren“ die Interaktion mit dem Prototypen aus Sicht eines Fußgängers. Getestet wurden darin fünf verschiedene Varianten der Außenkommunikation von autonomen Fahrzeugen mit Fußgängern (unabhängige Variable):

- *Baseline* - lediglich Abbremsen
- *Nicken* - Fahrzeugbewegung
- *Match* - Fahrzeugbewegung + übereinstimmendes eHMI
- *Missmatch* - Fahrzeugbewegung + widersprüchliches eHMI
- *Durchfahren* – Distraktor, bei dem das Fahrzeug ohne Bremsung durchfährt

Bei der Fahrzeugbewegung handelte es sich um eine induzierbare Nickbewegung des Prototyps, der durch einen AUDI A5 mit adaptiven Fahrwerk der AUDI AG realisiert wurde. Durch das Aufspielen eines positiven Neigungswinkel wurde dabei eine Vorwärtsdrehung des Fahrzeugs erreicht [2], welche von außen einer Verzögerung des Fahrzeuges entspricht. Zusätzlich wurde am Fahrzeug eine visuelle Rückmeldung in den Bedingungen *Match* und *Missmatch* angebracht (siehe Abbildung 1), die inhaltlich analog zu den Ampelmännchen gestaltet war.

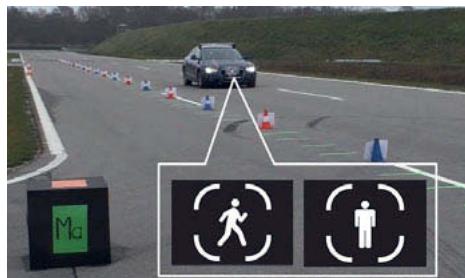


Abbildung 1 Darstellung der eHMI Inhalte für die Bedingungen *Match* und *Missmatch*

Bei der Bedingung *Match* war zusätzlich zur Fahrzeugbewegung das Icon eines gehenden Männchens am Kühlergrill angebracht, welches dem Fußgänger eine sichere Überquerung

symbolisieren sollte. In der Bedingung *Mismatch* wurde dabei ein stehendes Männchen präsentiert, welches in Bezug auf die Überquerungsintention zum Widerspruch mit der Fahrzeugbewegung stand.

Der Versuch fand auf Prüfgelände Neuburg in Bayern statt. Der Proband stellte in diesem Versuch einen Fußgänger dar, welcher instruiert wurde vor einem Fahrzeug die Straße zu überqueren. Das Fahrzeug näherte sich aus ca. 300m Entfernung an (siehe Abbildung 2). 200m vor dem Probanden wurde die Zielgeschwindigkeit von 55 km/h erreicht, welche innerhalb von 150m auf 30km/h reduziert wurde. An dieser Stelle erfolgte zudem eine einmalige Nickbewegung. Der Proband war instruiert die Hand zu heben, wenn dieser sich sicher fühlt die Straße vor dem Fahrzeug zu überqueren (anstelle des wirklichen Loslaufens).



Abbildung 2 Aufbau des Studiensettings

Der Ablauf der Studie war für alle Probanden identisch. Nach einer Begrüßung und Vorbefragung zu den soziodemographischen Daten sowie dem typischen Verhalten im Straßenverkehr, erfolgte eine Einleitung in den Versuch. Anschließend erlebten die Teilnehmer 19 Durchläufe mit fünf verschiedenen Kommunikationsvarianten (jeweils 4x die Varianten 1-4 und 3x das Durchfahren), die in drei verschiedene Zufallsreihenfolgen randomisiert wurden. Ein Proband durchlief eine dieser Reihenfolgen. Begonnen wurde jeweils mit einer *Baseline* Bedingung. Bei den vier Kommunikationsvarianten erfolgte während jedem Durchlauf und nach jedem letzten Durchlauf eine Erhebung von objektiven und subjektiven Daten. Beim Distraktordurchlauf wurde keine Befragung durchgeführt. Nach den 19 Durchläufen erfolgte die Abschlussbefragung sowie die Verabschiedung des Probanden.

## 2.2. Datenbasis und Analyse

Als subjektive Daten wurden neben spontanen Äußerungen während des Versuchs auch Fragebögen verwendet, welche die subjektive Wahrnehmbarkeit und subjektive Akzeptanz beinhalteten. Alle geschlossenen Fragen wurden dabei mittels einer sieben-stufigen Likert-Skala von „1: stimme gar nicht zu“ bis „7: stimme voll zu“ erfragt. Zudem gab es ein Feld für die Option der Enthaltung („keine Ahnung“).

Bezüglich der Wahrnehmbarkeit wurden die Probanden nach jedem Durchlauf gefragt, was genau sie in der Situation wahrgenommen haben (offene Frage). Zudem wurden sie mit drei

Aussagen konfrontiert: „Die vom Fahrzeug angebotenen Informationen waren eindeutig“, „Die Signale des Fahrzeugs ermöglichen mir eine klare Entscheidung zu treffen“ und „Mit der eben erlebten Kommunikationsvariante fühle ich mich als Fußgänger im Straßenverkehr sicher.“. Am Ende einer jeden Kommunikationsvariante erfolgte zudem eine Akzeptanz- und Systembewertung mit jeweils einer geschlossenen Frage („Wie bewerten Sie diese Kommunikationsvariante im Allgemeinen?“) und zwei offenen Fragen, bei denen nach positiven und negativen Meinungen gefragt wurde. Am Ende des Versuches wurde in der Abschlussbefragung zusätzlich nach den Kommunikationsvarianten gefragt: Die Probanden sollten die präferierten Botschaften (sicherheitsunkritische und sicherheitskritische Situationen) sowie die dafür verwendeten Technologien inklusive genauerer Ausprägung bewerten (z.B. „Wie würden Sie auf einem Display Information/Warnung kommunizieren?“).

Die Handlungsbereitschaft der Straßenüberquerung stellte die objektive Datenbasis dar. Diese wurde als Entfernung des Fahrzeugs zum Fußgänger zum Zeitpunkt der Handlungsbereitschaft erhoben. Dabei wurden Markierungen auf der Straße in 2m Abständen innerhalb der letzten 50m vor dem Probanden angebracht und später über Videodaten die Entfernung in Metern ermittelt.

Mittels varianzstatistischer Verfahren mit und ohne Messwiederholung wurden die Effekte der Kommunikationsvarianten auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = .05$  getestet. Zusätzlich werden deskriptive Tendenzen und qualitative Daten berichtet.

### **2.3. Stichprobe**

An der Studie nahmen 31 Personen teil (58% weiblich), welche sich nahezu homogen auf die Altersgruppen 20-34 Jahre, 35-49 Jahre und 50-65 Jahre verteilten. 100% der Probanden, die generell eine Sehhilfe tragen, trugen diese auch während des Versuchs. Ausgeschlossen waren außerdem Mitarbeiter aus dem Automobilbereich, Presse oder Marktforschung.

Alle Befragten nutzen zur Fortbewegung das Auto oder gehen zu Fuß. Die Probanden aus dem Kreis Neuburg/Ingolstadt legen im Durchschnitt die Hälfte ihrer wöchentlichen Strecken mit dem Auto zurück. Dicht gefolgt ist dieses von dem Fahrrad, welches durchschnittlich auf 1/3 der wöchentlichen Strecken verwendet wird. 87% der Befragten gehen täglich mind. 1x über die Straße. Zudem kommunizieren über 90% der Teilnehmer täglich im Straßenverkehr mit anderen Verkehrsbeeteiligten. Als häufigste Interaktionsformen wurden dabei Blickkontakt ( $n=9$ ) oder Handzeichen ( $n=7$ ) genannt. Die Kommunikation findet vor allem statt, um sich abzusichern ( $n=9$ ) oder das Überqueren der Straße ( $n=9$ ) abzustimmen.

## **3. Ergebnisse**

### **3.1. Überquerungsverhalten**

Das Überquerungsverhalten unterscheidet sich dabei signifikant zwischen den Kommunikationsvarianten ( $F[3,10] = 7,072; p \leq .01; \eta^2 = .68$ ). In den paarweisen Vergleichen zeigte sich hier, dass die Bedingungen mit einer Kommunikationsvariante von dem Überquerungsverhalten innerhalb der *Baseline* Bedingung signifikant abwischen (siehe Abbildung 3). Die Probanden würden sich bei den Bedingungen *Match* ( $M = 41,4\text{m}, p \leq .01$ ), *Missmatch* ( $M = 41,2\text{m}, p \leq .05$ ) und *Nicken* ( $M = 42,4\text{m}, p \leq .01$ ) und bereits circa 10m früher

entscheiden die Straße zu überqueren (Baseline:  $M = 31,8\text{m}$ ). Zwischen den Varianten mit Kommunikation ergab sich jedoch kein Unterschied.

In Summe würden etwa ein Viertel der Probanden immer erst bei Stillstand des Fahrzeugs über die Straße gehen. Bei der Bedingung *Durchfahren* bleiben über 80% der Probanden stehen. Von den restlichen Verbleibenden würden knapp 15% schon sehr früh (Entfernung des Autos  $\geq 40\text{m}$ ) gehen.

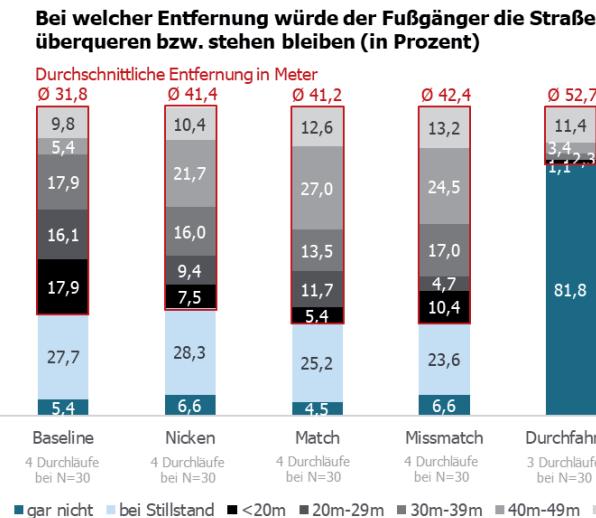


Abbildung 3 Prozentuale Häufigkeiten des Überquerungsverhalten innerhalb der einzelnen Kommunikationsvarianten

### 3.2. Subjektive Wahrnehmung

Die Anzahl der richtigen Antworten auf die Frage, was die Probanden wahrgenommen haben gepaart mit der korrekten Deutung der Botschaft, verbesserte sich über den Verlauf der Studie. Bei der Kommunikationsvariante *Nicken* steigerte sich die korrekte Wahrnehmung der Bewegung mit den Durchläufen von 39% auf 68%. Bei der Bedingung *Match* steigerte sich die korrekte Wahrnehmung der Fahrzeugbewegung und des Icons mit den Durchläufen um knapp 30%. Bei der Bedingung *Mismatch* hingegen steigerte sich die korrekte Wahrnehmbarkeit der Fahrzeugbewegung lediglich um 7% und die des Icons um 13%. Dieser Zuwachs ist deutlich geringer als in den Bedingungen *Match* oder *Nicken*.

In der *Baseline* Bedingung beschrieben nahezu alle Probanden das Abbremsen & Stehen Bleiben des Fahrzeugs als wahrgenommene Kommunikation. Zudem gab das Geräusch des Fahrzeugs Feedback über das Abbremsen/Beschleunigen. Bei der Bedingung *Nicken* wurde dies in jedem Durchlauf für ein starkes Bremsen gehalten. Bei der Bedingung *Match* gaben

sechs Probanden an, dass sie das Icon als Aufforderung zum Gehen interpretierten. Ebenfalls sechs Probanden beschrieben in der Bedingung *Missmatch* das stehende Icon explizit als *Missmatch* zur Fahrzeugbewegung.

### 3.3. Subjektive System- und Akzeptanzbewertung

Alle Konzepte werden als eindeutig, entscheidungsstützend und sicher wahrgenommen (siehe Abbildung 4). Dabei unterschieden sich erneut die unterschiedlichen Kommunikationsvarianten untereinander (eindeutig:  $\chi^2(2) = 17,754, p \leq .001$ ; entscheidungsstützend:  $\chi^2(2) = 17,280, p \leq .001$ ; sicher:  $\chi^2(2) = 16,102, p \leq .001$ ) in der Hinsicht, dass die *Baseline* signifikant schlechter bewertet wurde als die drei Bedingungen *Nicken*, *Match* und *Missmatch* (Abbildung 4; statistische Unterschiede für gepaarte Stichproben wurden mittels nichtparametrischen Wilcoxon-Rangsummen-Test ermittelt und sind in der Abbildung aufgeführt).



Abbildung 4 Subjektive Bewertung der Kommunikationsvarianten

Außerdem zeigt sich der Trend: Je mehr Informationen zur Verfügung stehen, desto positiver fällt die Bewertung aus. Dabei wurden die Varianten *Match* und *Missmatch* sehr ähnlich bewertet. Dies deutet darauf hin, dass die Probanden das alleinige Vorhandensein eines „Displays“ unabhängig von der enthaltenen Information besser bewerten.

Bei den offenen Fragen hinsichtlich eines positiven und negativen Feedbacks zeigte sich, dass gerade in der Bedingung *Baseline* ( $n=9$ ) und *Nicken* ( $n=6$ ) sich die Probanden noch weitere Signale wünschten. Besonders das Nicken wurde von vielen Probanden als positiv wahrgenommen. Viele haben es jedoch als „starkes Abbremsen“ beschrieben. Zudem sollte das Icon noch auffälliger oder durch zusätzliche Signale verstärkt werden ( $n=6$ ).

Bei dem Gesamtscore zeigte sich, dass alle drei Varianten der Außenkommunikation im Allgemeinen signifikant besser bewertet wurden als die *Baseline* Variante. Besonders deutlich wurde der Unterschied zwischen *Baseline* und der Kombination aus Fahrzeugbewegung und gehendem Fußgängericon. Außerdem schnitt die Variante *Match* besser ab als die Varianten *Missmatch* oder die alleinige Fahrzeugbewegung.

Innerhalb der Abschlussbewertung wurde auch deutlich, dass sich Signale in sicherheitskritischen Situationen klar von denen in sicherheitsunkritischen Situationen unterscheiden sollten. In sicherheitskritischen Situationen sollten die Signale auffällig sein

(z.B. LED 68%, Display-Animation 61%, Akustisches Signal 52%). Zusätzlich sollte in sicherheitskritischen Situationen eine Aufforderung an andere Verkehrsbeteiligte kommuniziert werden, bei unkritischen Situationen reicht die Kommunikation des Fahrzeugzustands.

Als Verbesserungsvorschläge wurden vor allem Punkte für die visuelle Anzeige bzw. der expliziten Kommunikation genannt. Dabei gaben die Probanden an, dass das Icon auffälliger gestaltet sein sollte, z.B. mit Licht, Farbe oder Animation. Zudem sollte die Botschaft "Stehen bleiben" nicht über ein stehendes Fußgängericon kommuniziert und verschiedene auffällige und eindeutige Kommunikationskanäle verwendet werden. In den sicherheitskritischen Situationen, bei denen potentiell auch Warnungen an andere Verkehrsbeteiligte ausgegeben werden, wurde mehr Auffälligkeit gewünscht. Dieses könnte beispielweise auch über LED-Leisten oder akustische Signale umgesetzt werden. Bei den sicherheitsunkritischen Information (z.B. über Fahrzeugzustand) wurde das Display präferiert.

#### 4. Zusammenfassung und Fazit

Durch den Einsatz von höher automatisierten oder autonomen Fahrzeugen kann sich potentiell auch die Interaktion zwischen den einzelnen Verkehrsbeteiligten ändern. Es wird davon ausgegangen, dass sich der Kommunikationsbedarf aufgrund des Bedürfnisses nach mehr Komfort und mehr wahrgenommener Sicherheit auf Seiten der menschlichen und meist schwächeren Verkehrsbeteiligten erhöhen wird. Die Relevanz dieser Thematik wird zudem in den soziodemografischen Daten dieser Studie deutlich, laut denen 87% der Befragten täglich mindestens einmal über die Straße gehen. Dies zeigt die Alltagsrelevanz geeignete Kommunikationsformen zwischen einem Fahrzeug und anderen Verkehrsbeteiligten zu finden. Bestrebungen der Forschung machen zwei verschiedene Ansätze deutlich: 1) implizite Kommunikation durch das Fahrzeugverhalten oder 2) explizite Kommunikation durch ein eHMI.

In der hier vorgestellten Studie wurden beide Varianten zur Außenkommunikation von autonomen Fahrzeugen mit Fußgängern in einem Überquerungsszenario getestet. 31 Probanden (58% weiblich) nahmen dabei an der Realfahrtstudie auf einem Prüfgelände teil. Neben der impliziten Kommunikation, dargestellt durch eine Nickbewegung, wurde zusätzlich keine Kommunikation und eine kombinierte implizite und explizite Kommunikation näher untersucht. Die Ergebnisse konnten u.a. zeigen, dass bei vorhandener Nickbewegung die Probanden bereits 10m früher die Straße überqueren (*Baseline* bei 31,8m Entfernung vs. *Nicken* bei 41,4m) würden, da dies als stärkeres Bremsen interpretiert wurde. Etwa ein Viertel der Probanden würde immer erst bei Stillstand des Fahrzeugs über die Straße gehen. Einige begründen dies durch ein Misstrauen gegenüber Technik/autonomem Fahren oder einem hohen Sicherheitsbedürfnis. Da keine solche Kontrollvariable erhoben wurde, kann das Warten bis zum Stillstand nicht eindeutig mit einem fehlenden Vertrauen in Automation in Verbindung gebracht werden. Obwohl das Nicken und die Fahrzeugbewegung nach mehreren Durchläufen häufiger wahrgenommen werden, gehen die Probanden nicht früher über die Straße. Es ist daher kein Lerneffekt erkennbar. Jedoch steigerte sich die korrekte Wahrnehmung des Nicks und des Icons mit den 4 Durchgängen um 30% in der Variante *Nicken* sowie auch in der Variante *Match*. Bei Variante *Missmatch* ist lediglich ein Wahrnehmungsanstieg von 7% bei der Bewegung und 13% bei dem Icon zu verzeichnen.

Objektiv zeigte sich kein Effekt für die visuellen Anzeigen, welche subjektiv von den Probanden aber positiv und als wünschenswert bewertet wurden. Es wurde jedoch deutlich, dass das

Konzept besser bewertet wurde, wenn mehr Informationen zur Verfügung stehen. Allerdings ist nicht das Icon relevant, sondern nur dass ein „Display“ vorhanden ist. Unklar bleibt, welche Rolle das Icon und dessen Inhalt spielt. Ein zusätzliches Icon führt nicht zu einem früheren „Überqueren“. Grund hierfür könnte sein, dass die kognitive Verarbeitung von zwei Reizen mehr Zeit beansprucht und deshalb auch nicht schneller als bei alleinigem *Nicken* eine Entscheidung getroffen werden kann. Interessant ist auch, dass sich die Entfernung bei einem stehenden oder einem gehenden Icon nicht unterscheidet. Das stehende Icon wird nur von 6 Personen als Aufforderung zum Stehen bleiben beschrieben. Somit ist anzunehmen, dass das Icon in der vorliegenden Studie nicht eindeutig durch die Probanden einer Interpretation zugeordnet werden konnte.

Zudem gaben die Probanden an, dass sich die Art und die Kanäle der Kommunikation nach Komplexität bzw. Kritikalität der Situation unterscheiden sollten. Dies wird auch in den Empfehlungen deutlich, bei denen u.a. mehr Modalitäten (Display, Lichtelement und akustische Elemente) für sicherheitskritische Situationen gewünscht wurden. Wohingegen bei sicherheitsunkritischen Situationen eine dezente explizite Anzeige in Form eines Displays gewünscht war. In Summe wurde jedoch die Tendenz zur Einfachheit und Eindeutigkeit deutlich.

Die entstandenen Erkenntnisse im Bereich der impliziten und expliziten Kommunikation ermöglichen eine optimale Anpassung der neuen Art der Mensch-Maschine-Interaktion an die Bedürfnisse des Nutzers, welcher zukünftig auch außerhalb des Innenraums mit dem Fahrzeug kommunizieren und interagieren wird. Eine weitere Betrachtung des Themenfeldes ist zu empfehlen.

## Literatur

- [1] Böckle, M.-P.; Brenden, A.P.; Klingegård, M.; Habibovic, A.; Bout, M. (2017). SAV2P – Exploring the Impact of an Interface for Shared Automated Vehicles on Pedestrians' Experience. In Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications Adjunct, Oldenburg, Germany, 24–27 September 2017, S. 136–140.
- [2] Cramer, S., Siedersberger, K. & Bengler, K. (2017). Active Vehicle Pitch Motions as Feedback-Channel for the Driver during Partially Automated Driving. Paper präsentiert auf der Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren, März 2017, Walting im Altmühltafel, Deutschland.
- [3] Dey, D. & Terken, J. (2017). Pedestrian Interaction with Vehicles: Roles of Explicit and Implicit Communication. In Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Oldenburg, Germany, 24–27 September 2017, S. 109–113.
- [4] Fekete, S., Vollrath, M., Huemer, A.K., & Salchow, C. (2015). Interaktionen im Straßenverkehr: Kooperation und Konflikt. In VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.), Der Fahrer im 21. Jahrhundert: Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit (S. 325–338). Düsseldorf: VDI Verlag.
- [5] Fuest T., Sorokin L., Bellem, H., Bengler K. (2018). Taxonomy of Traffic Situations for the Interaction between Automated Vehicles and Human Road Users. In: Stanton

- (Hrsg.) *Advances in Human Aspects of Transportation. AHFE 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 597. Springer, Cham.
- [6] Habibovic, A., Malmsten Lundgren, V., Andersson, J., Klingegård, M., Lagström, T., Sirkka, A., Fagerlönn, J., Edgren, C., Fredriksson, R., Krupenia, S., Saluääär, D. & Larsson, P. (2018). Communicating Intent of Automated Vehicles to Pedestrians. *Frontiers in Psychology*, 9, 1336. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01336>
  - [7] SAE International (2018). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. Online verfügbar unter [https://saemobilus.sae.org/content/J3016\\_201806/](https://saemobilus.sae.org/content/J3016_201806/).
  - [8] Schneemann, F., & Gohl, I. (2016). Analyzing driver-pedestrian interaction at crosswalks: A contribution to autonomous driving in urban environments. *2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 38-43.
  - [9] Schweizer, T., Thomas C., & Regli, P. (2009). Verhalten am Fussgängerstreifen. Forschungsprojekt zur Interaktionen zwischen Fahrzeuglenkenden und FussgängerInnen. Zürich: Fussverkehr Schweiz.
  - [10] Sun, R., Zhuang, X., Wu, C., Zhao, G., & Zhang, K. (2015). The estimation of vehicle speed and stopping distance by pedestrians crossing streets in a naturalistic traffic environment. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 30, 97–106. doi: 10.1016/j.trf.2015.02.002
  - [11] Zimmermann, M., Fahrmeier, L. & Bengler, K. (2015). A Roland for an Oliver? Subjective Perception of Cooperation During Conditionally Automated Driving. In Smari, W.W., McQuay, W., & Nygård, Mads (Hrsg.) *Proceedings of the 2015 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)* (p. 57-63). Piscataway: IEEE XPLOR Digital Library.

# Die Kunst der impliziten Kommunikation zwischen Auto- und Radfahrenden in Kreuzungen

Dr. **M. Dotzauer**, Dr. **Marek Junghans**,

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Berlin;

**Meng Zhang**, Dr. **Caroline Schießl**,

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Braunschweig

## Kurzfassung

Die Entwicklung automatisierter Fahrzeuge schreitet weiter voran. Im Fokus der Entwicklung stehen u.a. der urbane Raum und die Interaktion automatisierter Fahrzeuge mit nicht-motorisierten (z.B. zu Fuß Gehenden und Radfahrenden) Verkehrsteilnehmenden, was eine der größten Herausforderung an die Entwicklung der automatisierten Fahrfunktionen darstellt. Neben dem Einhalten und Anwenden von Verkehrsregeln sind menschliche Interaktionen im Verkehr durch informelle Regeln und soziale Normen geprägt. Hierbei spielt nonverbale und implizite Kommunikation eine wesentliche Rolle. Damit automatisierte Fahrzeuge und zu Fuß Gehende bzw. Radfahrende adäquat interagieren können, muss das zukünftige automatisierte Fahrzeug in der Lage sein, das aktuelle Verhalten sowie die darauffolgende Aktion nicht-motorisierter Verkehrsteilnehmender zu verstehen. Ebenso muss es zukünftiges eigenes Verhalten sowie die eigene Intention an den interagierenden Verkehrsteilnehmenden kommunizieren. Mit dem Ziel implizite Kommunikationsmuster zwischen Verkehrsteilnehmenden zu identifizieren wurden in einem ersten Schritt das beobachtbare Verhalten zwischen gerade-ausfahrenden Radfahrenden und rechtsabbiegenden Autofahrenden analysiert und interpretiert. An einer signalisierten innerstädtischen Kreuzung wurden Video- und Trajektoriendaten über einen Zeitraum von vier Wochen erhoben. Die Videosequenzen von 110 unkritischen und 55 kritischen Begegnungen zwischen Auto- und Radfahrenden wurden in einem ersten Schritt annotiert, um die Daten mit weiteren Informationen anzureichern. Basierend auf den annotierten Daten wurden danach unterschiedliche Muster, z.B. die relative Position bzw. der Wechsel in der relativen Position zueinander zwischen interagierenden Rad- und Autofahren- den bei der Annäherung an die Kreuzung identifiziert. Mit Hilfe der erhobenen Trajektorien, die beispielsweise objektive Informationen zu Positionen, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen der Verkehrsteilnehmenden enthalten, wurden die annotierten Videodaten in einem weiteren Schritt mit diesen objektiven Daten unterlegt. Durch Identifikation und Quantifizierung geeigneter Parameter können Interaktionen im Hinblick auf Konstrukte wie Sicherheit, Risiko usw. zwischen den interagierenden Verkehrsteilnehmenden beschrieben werden. Die Ergebnisse der Analysen dienen der Gestaltung der Kommunikationsstrategie zwischen automatisierten Fahrzeugen und nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmenden.

## 1. Einleitung

Verschiedene Verkehrsteilnehmende treffen im Verkehrsraum aufeinander und interagieren miteinander. Bei diesen Interaktionen handelt es sich in der Regel um Begegnungen, das heißt, dass beim räumlichen und zeitlichen Aufeinandertreffen von zwei oder mehr Verkehrsteilnehmenden, ihr Verhalten vorausschauend aufeinander abstimmt ist. In manchen Fällen handelt es sich bei dem Aufeinandertreffen um einen Konflikt, das heißt, dass sich Verkehrsteilnehmende so aufeinander zu bewegen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Kollision steigt und nur ein Ausweichmanöver eine Kollision verhindert [1]. Ein wesentlicher Bestandteil des Miteinanders im Verkehr ist die Kommunikation zwischen interagierenden Verkehrsteilnehmenden. Diese Kommunikation ist eine Kombination aus expliziter und impliziter Kommunikation [2] wie auch formellen und informellen Regeln [3]. Unter expliziter Kommunikation im Straßenverkehr versteht man Gesten, wie z.B. winken oder nicken, Augen- bzw. Blickkontakt, optische Zeichen, z.B. Blinker, oder akustische Signale wie Fahrradklingel oder Hupe, die aktiv genutzt werden, um eine Absicht zu kommunizieren [2, 4]. Auf der anderen Seite können Absichten implizit kommuniziert werden. Wesentliche Elemente für die implizite Kommunikation sind Bewegung bzw. Bewegungsrichtung im Verkehr, Positionierung auf dem Fahrstreifen, Motorgeräusche oder auch Orientierung des Kopfes bzw. Körpers sowie die Körperbewegung [2]. In der Straßenverkehrsordnung (StVO) sind formelle Regeln, z.B. für das Überholen, die Vorfahrt, das Abbiegen und Einbiegen etc., definiert und erläutert. Auf der anderen Seite wird das grundsätzliche Verhalten im Straßenverkehr in Paragraph 1 definiert. Es heißt: „Wer am Straßenverkehr teilnimmt, hat sich so zu verhalten, dass kein anderer geschädigt, gefährdet oder, mehr als nach den Umständen unvermeidbar, behindert oder belästigt wird“ [5]. Damit das realisiert werden kann, bedarf es u.a. informeller Regeln (ungeschriebene Gesetze), die neben den formellen Regeln existieren und dazu beitragen, dass sich der Verkehr reguliert. Das heißt, dass Verkehrsteilnehmende bspw. Fehler von anderen kompensieren und ihr Verhalten an deren Verhalten anpassen [4]. Prinzipiell sollte der Mensch in der Lage sein, die Informationen über andere interagierende Verkehrsteilnehmende aus den einzelnen Quellen (implizite/explizite Kommunikation und formelle/informelle Regeln) adäquat zu extrahieren, zu interpretieren und zu einem kontextbezogenen Gesamtbild zusammenzuführen, um auf diese Art und Weise valide Annahmen über die Absichten des Gegenüber zu treffen und das eigene Manöver im Einklang mit dem Manöver des Anderen zu planen und auszuführen [6]. Savigny (1995, nach [4]) beschreibt anhand der Lichthupe das Zusammenspiel von Kommunikation und Regeln und deren Auswirkung auf die Interaktion. Wenn ein vorfahrtsberechtigter Kfz-Führender (formelle Regel) die Geschwindigkeit verringert (implizite Kommunikation) und Lichthupe gibt (explizite Kommunikation), dann wird signalisiert, dass der Nichtvorfahrtsbe-

rechtigte fahren kann. Wenn der vorfahrtsberechtigte Kfz-Führende mit gleichbleibender Geschwindigkeit und Lichthupe auf einen Nichtvorfahrtsberechtigten zufährt, so ist der Inhalt der Nachricht ein anderer.

Im Zuge der fortschreitenden Automatisierung von Fahrzeugen auch für den urbanen Raum, ist es unabdingbar, für das Verstehen der Interaktion zwischen motorisierten Verkehrsteilnehmenden sowie motorisierten und nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmenden, die Kommunikation zu verstehen und in die Entwicklung der automatisierten Fahrzeuge einfließen zu lassen. Der städtische Raum stellt eine Herausforderung für automatisierte Fahrzeuge dar, da die zu bewältigten Situationen sehr komplex sind. Es treffen die unterschiedlichsten Gruppen an Verkehrsteilnehmenden (z.B. Kfz-Führende, Radfahrende und zu Fuß Gehende) mit unterschiedlichsten Geschwindigkeiten und Möglichkeiten der Kommunikation (z.B. Blinker bei Kfz-Führeren, Handbewegung bei Radfahrenden, kein Zeichen eines Richtungswechsels bei zu Fuß Gehenden) in den unterschiedlichsten infrastrukturellen Gegebenheiten (z.B. durch Lichtsignalanlagen gesteuerte Kreuzung, Regelung der Vorfahrt durch Verkehrsschilder, Shared Spaces) aufeinander. Mehr als auf der Autobahn oder der Landstraße zeichnet sich die Verständigung im urbanen Raum durch eine Kombination verschiedener Kommunikationselemente (implizite und explizite Kommunikation sowie formelle und informelle Regeln) aus. Zukünftige automatisierte Fahrzeuge müssen in der Lage sein, diese Kommunikationselemente zu verstehen, zu einem Gesamtbild zusammenzufügen, die Absicht interagierender Verkehrsteilnehmender valide zu prädizieren und auf Basis der Prädiktion ein sicheres Manöver zu planen, zu kommunizieren und auszuführen. Damit das automatisierten Fahrzeugen der Zukunft gelingen kann, müssen die zugrundeliegenden Interaktionen zwischen (nicht-automatisierten) Verkehrsteilnehmenden untersucht und verstanden werden [7] und bilden damit die wesentliche Grundlage hierfür.

Im städtischen Raum ergibt sich die Notwendigkeit, die Interaktion zwischen Radfahrenden und Kfz-Führenden und dementsprechend das Zusammenspiel vom impliziter und expliziter Kommunikation sowie informellen und formellen Regeln zu verstehen. Untersuchungen von Radwegen, die in beide Richtungen befahren werden, zeigten, dass Autofahrende keine Radfahrenden aus der entgegenkommenden Richtung erwarten [8]. Auf der anderen Seite zeigten Untersuchungen an einem Zebrastreifen, dass Autofahrende Radfahrenden, die den Zebrastreifen zum Queren nutzen, Vorfahrt gewährten, obwohl das per Gesetz nicht vorgeschrieben ist [9]. Weitere Untersuchungen zeigen, dass obwohl die Vorfahrt durch Vorschriften geregelt ist, das Verhalten nicht-konform ist und dadurch kritische Situationen bzw. Unfälle begünstigt werden [10, 11]. Beispielsweise ist die Ausfahrt aus dem Kreisverkehr geregelt: Wenn Autofahrende den Kreisverkehr verlassen, dann müssen sie querenden zu Fuß Gehenden und

Radfahrenden Vorfahrt gewähren. Nichtsdestotrotz haben Silvano und Kollegen [10] beobachtet, dass Autofahrende nicht immer Vorfahrt gewähren und daher das Verhalten und Einflussfaktoren untersucht. So stellte sich heraus, dass je höher die Geschwindigkeit des Autofahrenden ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Autofahrende Radfahrenden Vorfahrt gewähren. Die beobachteten Geschwindigkeiten der Autofahrenden ähneln den Geschwindigkeiten, wenn keine Radfahrenden präsent sind. Die Ergebnisse zeigen auch, dass die Geschwindigkeiten der Radfahrenden in Situationen, in denen Autofahrende keine Vorfahrt gewähren, ähnlich zu den Geschwindigkeiten sind, wenn Radfahrende nicht auf Autofahrende treffen. Es ist anzunehmen, dass Radfahrende davon ausgehen, dass ihnen Vorfahrt gewährt wird, da das die Vorschrift vorsieht. Eine Untersuchung von verunglückten Radfahrenden an Kreuzungen unterstreicht diese Annahme. Eine Mehrzahl der zu Schaden gekommenen Radfahrenden gaben an, dass sie davon ausgegangen sind, dass Autofahrende Vorfahrt gewähren, da dies der Vorschrift entsprach [11].

Laut Statistischem Bundesamt eigneten sich über die Hälfte der Unfälle zwischen Auto- und Radfahrenden beim Abbiegen, Kreuzen oder Einbiegen [12]. Die Hauptursachen auf Seiten der Autofahrenden sind Nichtbeachten der Vorfahrt, Fehler beim Abbiegen und Einfahren in den fließenden Verkehr [13]. Die Ergebnisse aus den Untersuchungen und den Unfallanalysen zeigen, dass Vorschriften alleine kritische Situationen bzw. Unfälle zwischen Radfahrenden und Autofahrenden nicht verhindern. Das Erkennen der Absichten und Kommunizieren der eigenen Absichten sind wesentlicher Bestandteil eines reibungslosen Miteinanders auch in stark geregelten bzw. regulierten Verkehrssituationen, wie z.B. lichtsignalanlagengesteuerten Kreuzungen, an denen zusätzlich die Vorfahrt zwischen querenden und abbiegenden Verkehrsteilnehmenden geregelt ist.

Mit dem Ziel geeignete Parameter zur Beschreibung impliziter Kommunikationsmuster zwischen Verkehrsteilnehmenden zu identifizieren, wurden in einem ersten Schritt das beobachtbare Verhalten zwischen geradeausfahrenden Radfahrenden und rechtsabbiegenden Autofahrenden in Begegnungen und Konflikten analysiert und interpretiert. An einer signalisierten innerstädtischen Kreuzung wurden Video- und Trajektorien in einem Zeitraum von vier Wochen erhoben. Die Daten von 55 Konflikten sowie 110 Begegnungen zwischen geradeausfahrenden Radfahrenden und rechtsabbiegenden Autofahrenden an einer ampelgesteuerten innerstädtischen Kreuzung wurden für die Sekundäranalyse zu Grunde gelegt. In der Zeit vom 22. August 2016 und 18. September 2016 wurden die Daten<sup>1</sup> erhoben und die Konflikte und Begegnungen auf Basis von Videosichtung klassifiziert. Für die Sekundäranalyse wurden die

---

<sup>1</sup> Die Daten wurden im Rahmen des EU Projekts XCYCLE erhoben.

Videodaten der Konflikte bzw. Begegnungen zwischen Radfahrenden (siehe blauer Pfeil in Abbildung 1) und Autofahrenden (siehe roter Pfeil in Abbildung 1) durch Annotationen mit weiteren Informationen angereichert. Die Trajektoriendaten wurden für die Analyse des beobachtbaren Verhaltens und der impliziten Kommunikationsmuster aufbereitet. Aufgrund von fehlerhaften Trajektoriendaten und Ausschluss von Situationen, in denen Autofahrende an der roten Ampel stoppen mussten, wurden 20 Datensätze von der Analyse ausgeschlossen.

## 2. Methode

### 2.1 Daten

Im Zeitraum vom 22. August bis 18. September 2016 wurden Video- und Trajektoriendaten an der AIM Forschungskreuzung erhoben. Auf Basis der Kritikalitätsmetrik „post encroachment time“ (PET<2,0s), die angibt, dass sich zwei interagierende Verkehrsteilnehmende um maximal 2 Sekunden verpassen, wurden insgesamt 1800 potentielle Interaktionen zwischen Rad- und Autofahrenden extrahiert. Nach Sichtung der Videos wurden 300 Situationen ausgeschlossen, da es sich nicht um Interaktionen zwischen Rad- und Autofahrenden handelte, und die restlichen Situationen als Begegnung bzw. Konflikt klassifiziert. Insgesamt wurden 55 Konflikte identifiziert und aus den verbliebenen Begegnungen 110 Situationen zufällig ausgewählt, so dass ein Verhältnis von 1:2 zwischen Konflikten und Begegnungen vorlag. Aufgrund von fehlerhaften Trajektorien wurden neun Konflikte und drei Begegnungen von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Darüber hinaus wurden Situationen eliminiert, in denen Autofahrende an der roten Ampel warten mussten. Für die Sekundäranalyse lagen insgesamt 145 Datensätze (101 Begegnungen und 44 Konflikte) vor.

### 2.2 Material & Apparatur

Als Teil der Anwendungsplattform intelligente Mobilität (AIM) im Testfeld Braunschweig wurde an der Kreuzung Hagenring/Rebenring ein infrastrukturelles Detektionssystem implementiert. Zusätzlich zu den Monokameras, Infrarotbeleuchtung und Radar zur Erfassung des motorisierten Verkehrs im Kreuzungsinnenraum und den Stereokameras und der Infrarotbeleuchtung zur Erfassung von zu Fuß Gehenden und Radfahrenden an der westlichen und südlichen Furt [14, 15, 16], wurde die Kreuzung mit zwei weiteren Säulen (siehe gelbe Punkte in Abbildung 1 links und rechts) ausgestattet [17]. Die Säulen sind jeweils mit Stereokameras und Infrarotbeleuchtung ausgestattet und ermöglichen die Erfassung von Radfahrenden und motorisiertem Verkehr im östlichen Arm bei der Annäherung an die Kreuzung (ca. 35 bis 40 Meter) und dem gemeinsamen Konfliktpunkt in der Kreuzung. Die Daten der beiden Sensorsysteme wurden in Echtzeit fusioniert und prozessiert. Somit wurden Trajektoriendaten und korrespondierende Videodaten mit einer Aufzeichnungsrate von 25 Hertz von Verkehrsteilnehmenden erzeugt. Die Trajektoriendaten beinhalten die unter anderem Informationen über die Position des de-

tekierten Objekts, die Geschwindigkeit, Beschleunigung und die Verkehrsbeteiligungsart. Verkehrsteilnehmende wurden den folgenden Kategorien zugewiesen: Pkw, Lkw, Lieferwagen, Radfahrende, zu Fuß Gehende. Das Bildmaterial von Verkehrsteilnehmenden und -geschehen wurde in Echtzeit anonymisiert und mit einer geringen Bildauflösung gespeichert, sodass weder Kennzeichen noch Gesichter erkannt oder verfolgt werden können.

### 2.3 Versuchsdesign & Vorgehensweise

Bei der Studie handelt es sich um ein  $2 \times 3$  Design. Der Faktor *Art der Begegnung* beinhaltet die Stufen Begegnung und Konflikt. Der zweite Faktor *Muster im Abbiegebereich* (siehe gestrichelte Linie in Abbildung 1) ist dreistufig und bezieht sich auf die relative Position des Fahrzeugs zu dem Radfahrenden vor der Radfahrerfurt bzw. Konfliktpunkt: (1) **vor** dem Radfahrenden, (2) **hinter** dem Radfahrenden und (3) **gleichauf** mit dem Radfahrenden. Die abhängigen Variablen sind Geschwindigkeit und Beschleunigung, die aus den Trajektoriendaten abgeleitet wurden.



Abbildung 1: Links: Schematische Darstellung der Kreuzung, Erfassungsbereich (gelbe Kegel), Position der Säulen (gelbe Punkte) und Bewegungspfade von Radfahrenden (blau) und Autofahrenden (rot). Rechts: Gehäuse für Sensoren zur Erfassung von Verkehrsteilnehmenden.

Die Untersuchung wurde an der AIM-Forschungskreuzung in Braunschweig durchgeführt. Untersuchungsgegenstand waren Situationen, in denen Autofahrende von der Hans-Sommer-Straße rechts in die Brucknerstraße abbogen, während Radfahrende geradeaus die Kreuzung von der Hans-Sommer-Straße kommend überquerten. Bedingung für die Berücksichtigung einer Situation war, dass beide Verkehrsteilnehmenden gleichzeitig fahrberechtigt waren, also gleichzeitig von der Lichtsignalanlage „grün“ signalisiert bekamen, und zusätzlich musste es sich um eine Begegnung oder Konflikt handeln.

Für die Sekundäranalyse wurden die Daten auf den Bereich zwischen Haltelinie für Autofahrende und das Ende der Radfahrerfurt (Abbildung 2) beschränkt und in zwei Abschnitte eingeteilt: Abbiege- und Kreuzungsbereich. Die Länge der Bereiche entspricht ca. 30 Meter für Autofahrende und 28 Meter für Radfahrende. Für Autofahrende wurde der Abschnitt 1 von der Haltelinie bis zur linken Markierung der Radfahrerfurt definiert. Der Kreuzungsbereich umfasst den Bereich zwischen der linken und rechten Begrenzung der Radfahrerfurt. Der erste Abschnitt für die Radfahrenden deckte den Bereich von der Haltelinie für den motorisierten Verkehr bis zur Haltelinie für Radfahrende direkt vor der Kreuzung ab. Der zweite Abschnitt begann an der Haltelinie und endete, wenn Radfahrende aus dem Videobild herausgefahren sind.

Die Videos der Begegnungen und Konflikte wurden anhand eines Annotationsschemas für diese Bereiche mit weiteren Informationen angereichert. Unter anderem wurden die relativen Positionen von Rad- und Autofahrenden bei der Annäherung an die Kreuzung zueinander und der Wechsel in diesen Positionen für den ersten Abschnitt annotiert. Ein mögliches Muster war, dass sich der Autofahrende während der gesamten Durchfahrt vor dem Radfahrenden befand. Eine anderes Muster war, dass sich der Autofahrende erst vor dem Radfahrenden, dann gleich auf und am Ende des Abschnitts hinter dem Radfahrenden befand. Die identifizierten Muster wurden den Oberkategorien des Faktors *Muster im Abbiegebereich* zugeordnet.

Der Videosequenz jeder einzelnen Situation wurden die korrespondierenden Trajektorien unterlegt, aus denen die objektiven Kenngrößen Geschwindigkeit und Beschleunigung abgeleitet wurden. Aufgezeichnete Zeitstempel sowie die Vergabe von Identifikationsnummern ermöglichten dabei eine genaue Zuordnung der Videodaten zu den Trajektoriendaten. Die Daten der resultierenden 145 Situationen (101 Begegnungen und 44 Konflikte) wurden für die Analyse der Interaktion zwischen rechtsabbiegenden Autofahrenden und querenden Radfahrenden aufbereitet und bereinigt. So wurden fehlende Werte in den Trajektoriendaten mit Hilfe der



**Abbildung 2:** Schematische Darstellung der Abschnitte. Die gestrichelten weißen Linien korrespondieren mit dem Abbiegebereich. Das straffierte Kästchen stellt den Kreuzungsbereich bzw. die Konfliktzone dar.

Spline Funktion interpoliert und die kinematischen Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung mittels Smooth-Spline geglättet.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Deskriptive Statistik und Muster im Abbiegebereich

Insgesamt wurden 145 Situationen analysiert (44 Konflikte, 101 Begegnungen). Bei den Begegnungen querte der Radfahrende in 94% der Fälle die Kreuzung vor dem Autofahrenden, bei den Konflikten hingegen querte in 86% der Fälle der Autofahrende vor dem Radfahrenden die Kreuzung.

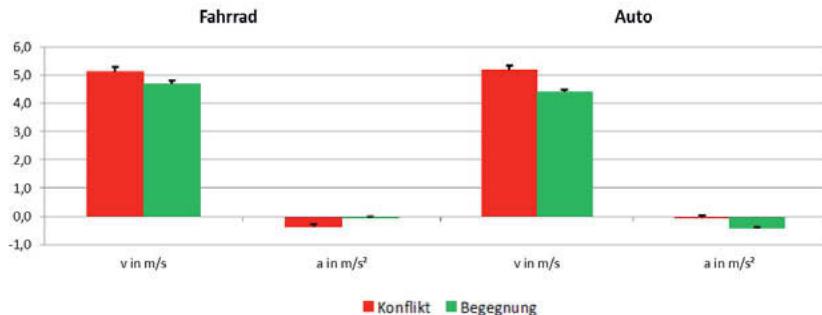


Abbildung 3: Darstellung der mittleren Geschwindigkeiten und Beschleunigungen (+SE) für Radfahrende (links) und Autofahrende (rechts) in Konflikten und Begegnungen.

Die Analyse der mittleren Geschwindigkeiten zeigt, dass sich die Geschwindigkeiten von Radfahrenden, die einen Konflikt mit Autofahrenden hatten, signifikant von den Geschwindigkeiten von Radfahrenden, die einem Autofahrenden begegnet sind, unterscheiden ( $t(143)= 2,32, p= 0,021$ ). Der Unterschied in den mittleren Geschwindigkeiten von Autofahrenden war ebenfalls signifikant ( $t(143)= 2,76, p= 0,007$ ). Die Geschwindigkeit von Rad- und Autofahrenden war in Konflikten höher (Abbildung 3).

Die Unterschiede in den mittleren Beschleunigungen sind signifikant (Abbildung 3). Radfahrende, die einen Konflikt mit einem Autofahrenden hatten, zeigten eine stärkere mittlere negative Beschleunigung im Vergleich zu Radfahrenden, die einem Fahrzeug begegneten ( $t(143)= -3,72, p< 0,001$ ). Für Autofahrende ist der Unterschied ebenso signifikant, aber Autofahrende, die einem Radfahrenden begegneten, hatten eine höhere negative Beschleunigung als Autofahrende, die einen Konflikt mit Radfahrenden hatten ( $t(143)= 5,15, p< 0,001$ ).

Durch die Analyse der relativen Position zueinander im Abschnitt 1 (der Abschnitt zwischen Haltelinie und Konfliktzone) wurden insgesamt 14 Muster identifiziert, die mit unterschiedlicher Häufigkeit abhängig von der Art der Begegnung auftraten. Diese Muster sind in Tabelle 1 zu-

sammengefasst und die Zuordnung zu den Oberkategorien (1) Fahrzeug **vor** dem Radfahrenden, (2) Fahrzeug **hinter** dem Radfahrenden und (3) Fahrzeug **gleichauf** mit dem Radfahrenden an der Konfliktzone dargestellt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Aus der Tabelle geht hervor, dass bei Konflikten in 64% der Autofahrenden vor dem Radfahrenden und bei Begegnungen 84% der Radfahrenden zuerst den Konfliktpunkt erreichte. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass das Verhalten bzw. die Änderung der relativen Position zueinander bei Konflikten weniger variabel ist. In knapp 60% der Fälle, die in einem Konflikt zwischen dem rechtsabbiegenden Autofahrenden und dem querenden Radfahrenden endeten, gab es in Abschnitt 1 keine Veränderungen der relativen Position zueinander. In weiteren 16% der Fälle befand sich der Autofahrende erst vor dem Radfahrenden, wobei die Interaktionspartner zu gleicher Zeit an der Furt ankamen. Im Fall von Begegnungen war eine häufigere Veränderung der relativen Position zueinander zu beobachten. In knapp 38% der Fälle befand sich der Autofahrende erst hinter dem Radfahrenden, dann waren beide gleichauf und an der Furt befand sich der Radfahrende vor dem Autofahrenden.

**Tabelle 1: Übersicht der Muster im Abbiegebereich für Konflikte und Begegnungen.**

Kategorien	Muster	Konflikt		Begegnung	
		Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit (%)	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit (%)
Fahrzeug vor dem Radfahrenden	vor	26	59,09	9	8,74
	hinter-vor	0	0,00	1	0,97
	gleich-vor	0	0,00	1	0,97
	vor-gleich-vor	2	4,55	0	0,00
	hinter-gleich-vor	0	0,00	1	0,97
	hinter-gleich-vor-gleich-vor	0	0,00	1	0,97
Fahrzeug hinter dem Radfahrenden	hinter	4	9,09	20	19,61
	gleich-hinter	0	0,00	15	14,56
	vor-gleich-hinter	2	4,55	39	37,86
	hinter-gleich-hinter	1	2,27	5	4,85
	gleich-vor-gleich-hinter	0	0,00	7	6,80
Fahrzeug gleichauf mit dem Radfahrenden	gleich	1	2,27	0	0,00
	vor-gleich	7	15,91	3	2,91
	gleich-vor-gleich	1	2,27	0	0,00

### 3.2 Geschwindigkeitsverläufe im Abbiegebereich

In Abbildung 5 sind die Geschwindigkeitsverläufe von Auto- und Radfahrenden gruppiert nach Muster im Abbiegebereich und Art der Begegnung dargestellt. Oben links sind die Konflikte und oben rechts die Begegnungen abgebildet, wenn die Situation dem Muster Fahrzeug vor dem Radfahrenden zugeordnet wurde. Auffällig ist, dass Autofahrende in Konflikten ( $n= 28$ ) niedrigere Geschwindigkeiten bis zu 0 m/s bis in die Radfahrerfurt hinein aufwiesen, wobei solche niedrigen Geschwindigkeiten weniger oft bei Autofahrenden in Begegnungen ( $n= 13$ ) beobachtet wurden. Im Fall von Begegnungen wurden auch keine Geschwindigkeiten von 0 m/s auf der Radfahrerfurt identifiziert. Ein wesentlicher Unterschied in den Geschwindigkeitsverläufen von Radfahrenden zeichnet sich direkt vor der Querung der Straße ab. Während bei Radfahrenden vor der Querung der Straße bei Konflikten sehr geringe Geschwindigkeiten beobachtet wurden, so konnte dieses Phänomen bei Radfahrenden in Begegnungen nicht gefunden werden.

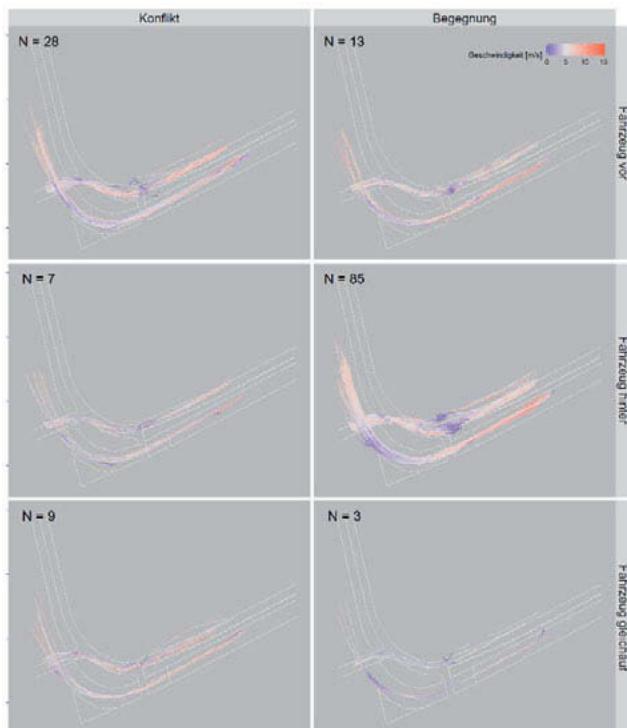


Abbildung 4: Darstellung der Geschwindigkeitsverläufe unterteilt nach Art der Begegnung (Konflikt links und Begegnung rechts) und Muster im Abbiegebereich.

Bei dem Muster Fahrzeug **hinter** dem Radfahrenden fällt auf, dass Autofahrende in Begegnungen schon frühzeitig in Abschnitt 1 ihre Geschwindigkeit verringerten und häufig vor der Radfahrerfurt sehr geringe Geschwindigkeiten aufwiesen. Die Geschwindigkeiten der Autofahrenden in Konflikten ( $n= 7$ ) erscheint höher und weniger variabel. Einige Geschwindigkeitsverläufe von Radfahrenden in Begegnungen ( $n= 85$ ) zeigten eine Reduzierung der Geschwindigkeit vor der Furt auf. In Bezug auf die Radfahrenden sind bei dem Muster Fahrzeug **gleichauf** mit dem Radfahrenden in Konflikten ähnliche Trends zu erkennen wie bei dem Muster **vor**: die Radfahrenden zeigten direkt vor der Querung der Straße niedrige Geschwindigkeiten. Das Muster **gleichauf** ist nur dreimal bei den Begegnungen aufgetreten, nichtsdestotrotz kann man erkennen, dass die Autofahrenden ihre Geschwindigkeit vor der Radfahrerfurt verringerten, wobei Autofahrende in der Gruppe Konflikt mit recht gleichbleibender Geschwindigkeit über die Furt fuhren.

### 3.3 Beschleunigungsverläufe im Abbiegebereich

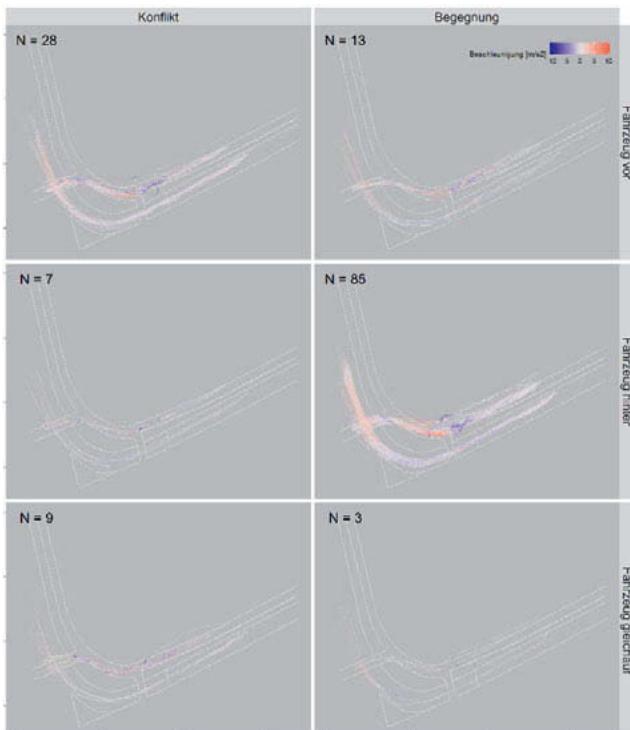


Abbildung 5: Darstellung der Beschleunigungsverläufe unterteilt nach Art der Begegnung (Konflikt links und Begegnung rechts) und Muster im Abbiegebereich.

Analog zu der Darstellung der Geschwindigkeitsverläufe sind in Abbildung 6 die Beschleunigungsverläufe dargestellt. Bei dem Muster Fahrzeug **vor** dem Radfahrenden fällt auf, dass Radfahrende, die einen Konflikt mit einem Autofahrenden erfuhren, eine hohe negative Beschleunigung direkt vor der Querung der Straße aufwiesen. Autofahrende in Konflikten (n= 28) zeigten eine recht konstante Beschleunigung während ihrer Durchfahrt des Abschnitt 1.

Autofahrende in Begegnungen (n= 13) schienen kontinuierlich zu verzögern und beschleunigen allmählich vor der Ausfahrt aus dem Abschnitt. Das Muster Fahrzeug **hinter** dem Radfahrenden der Autofahrenden in Begegnungen ähnelt dem Muster Fahrzeug **vor** dem Radfahrenden. Autofahrende verzögerten kontinuierlich und begannen mit der allmählichen Beschleunigung einige Meter vor der Radfahrerfurt. Trotz kleiner Fallzahlen im Muster Fahrzeug **gleichauf** mit dem Radfahrenden erscheint es, dass Radfahrende in der Gruppe Konflikt vor der Querung der Straße stärker verzögerten als Radfahrende, die eine Begegnung mit einem Autofahrenden erfuhren.

#### 4. Interpretation & Diskussion

Mit dem Ziel geeignete Parameter zur Beschreibung impliziter Kommunikationsmuster zwischen Verkehrsteilnehmenden zu identifizieren, wurden in einem ersten Schritt das beobachtbare Verhalten zwischen geradeausfahrenden Radfahrenden und rechtsabbiegenden Autofahrenden in Begegnungen bzw. Konflikten analysiert und interpretiert. An einer signalisierten innerstädtischen Kreuzung wurden Video- und Trajektoriendaten über einen Zeitraum von vier Wochen erhoben. Die Analyse der 101 Begegnungen und 44 Konflikten ergab, dass Auto- und Radfahrende in Konflikten eine höhere Geschwindigkeit aufwiesen als in Begegnungen. Im Falle eines Konflikts zwischen Auto- und Radfahrenden, querten Autofahrende in der Mehrzahl der Fälle die Radfahrerfurt vor dem Radfahrenden. Die Analyse der mittleren Beschleunigung zeigte auch, dass Radfahrende stärker verzögerten als Autofahrende obwohl sie in dem untersuchten Szenario vorfahrtsberechtigt waren.

Die Analyse der relativen Position zueinander in dem Abschnitt zwischen Haltelinie und Konfliktzone unterstreicht die Ergebnisse der mittleren Geschwindigkeiten und Beschleunigungen. Bei Konflikten befindet sich der Autofahrende in diesem Abschnitt in der Mehrzahl der Fälle vor dem Radfahrenden und es wurden kaum Wechsel in der relativen Position zueinander beobachtet. Die stärkeren negativen Beschleunigungen der Radfahrenden lassen vermuten, dass der Autofahrende den Radfahrenden beim Rechtsabbiegen nicht beachtet und seine Geschwindigkeit nicht anpasst bzw. sein Manöver nicht mit dem Radfahrenden abstimmt. Die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverläufe unterstützen die Annahme. In Regel befuhren Autofahrende den Abschnitt zwischen Haltelinie und Konfliktzone mit einer konstanten Geschwindigkeit und beschleunigten bevor sie die Konfliktzone erreichen. Die Verläufe der

Radfahrenden lassen vermuten, dass Autofahrende, in einer Vielzahl von Instanzen, Radfahrenden die Vorfahrt genommen hatten. Es ist erkennbar, dass Radfahrende vor dem Befahren der Konfliktzone stark bremsen mussten und die Geschwindigkeit dementsprechend stark reduziert wurde.

Den Konflikten gegenüber stehen die Begegnungen. In Begegnungen konnte ein gegensätzlicher Trend beobachtet werden: Autofahrende verzögerten stärker als Radfahrende. Die Muster im Abbiegebereich unterscheiden sich von den Mustern in Konflikten. Situationen, in denen sich Rad- und Autofahrende begegnen, zeichnen sich durch eine Dynamik im Abbiegebereich aus. Es ist ersichtlich, dass die Autofahrenden ihr Manöver in Einklang bringen mit dem Radfahrenden. Nicht nur kommt es in einer Vielzahl der Fälle zu Wechseln in den relativen Positionen, sondern auffällig ist, dass diese Wechsel in erster Linie bedeuten, dass Autofahrende ihre Geschwindigkeit so anpassen, dass Radfahrende vor ihnen die Kreuzung queren können. Die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverläufe illustrieren das Abstimmen mit den Radfahrenden. Schon bei der Einfahrt in den Abbiegebereich passen Autofahrende ihre Geschwindigkeit an, kommen oft vor der Konfliktzone zum Stehen. Nichtsdestotrotz muss an dieser Stelle berücksichtigt werden, dass nach der Einteilung der Situationen in die Muster **vor**, **hinter** und **glechauf**, die Fallzahlen zum einem ungleich waren und zum anderen auch zur Folge hatten, dass sie z.T. sehr klein ausfielen. An dieser Stelle kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein Teil des beobachteten Verhaltens auf diesen Umstand zurückzuführen ist. In zukünftigen Analysen wird versucht, die Fallzahlen zu erhöhen.

Mit den Analysen des beobachteten Verhaltens war es möglich neue Erkenntnisse über das Verhalten von Auto- und Radfahrenden in Begegnungen und Konflikten zu gewinnen und diese besser zu verstehen. In einem nächsten Schritt müssen geeignete Kenngrößen entwickelt werden, die es ermöglichen, die Interaktion bzw. die implizite Kommunikation zwischen den Verkehrsteilnehmenden zu quantifizieren. Ein mögliches Maß, die Kohärenz [18], kommt aus der Signalverarbeitung und könnte für diese Art von Untersuchung geeignet sein.

## Literaturverzeichnis

- [1] Erke, H., & Gstalter, H. (1985). Verkehrskonflikttechnik: Handbuch für die Durchführung und Auswertung von Erhebungen (Vol. 52). Wirtschaftsverlag NW.
- [2] Risser, R. (1985). Behavior in traffic conflict situations. *Accident Analysis & Prevention*, 17(2), 179-197.
- [3] Lurie, S. (1987). A parametric model of utility for two-person distributions. *Psychological Review*, 94(1), 42.
- [4] Färber, B. (2015). Kommunikationsprobleme zwischen autonomen Fahrzeugen und menschlichen Fahrrnern. In *Autonomes Fahren* (pp. 127-146). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- [5] Schubert, R. (2013). Die neue StVO 2013. *STRASSENVERKEHRSRECHT*, 13(4).
- [6] Bauer, T., Risser R., Soche P., Teske W., Vaughan C. (1980). Kommunikation im Straßenverkehr: Literaturstudie aus juridischem, kommunikationstheoretischem und psychologischen Blickwinkel. 1.Zwischenbericht. Kuratorium für Verkehrssicherheit, Wien.
- [7] Mirlig, N., Perterer, N., Stollnberger, G., & Tscheligi, M. (2017, March). Three strategies for autonomous car-to-pedestrian communication: A survival guide. In *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction* (pp. 209-210). ACM.
- [8] Rasanen, M., & Summala, H. (2000). Car drivers' adjustments to cyclists at roundabouts. *Transportation Human Factors*, 2(1), 1-17.
- [9] Bjørnskau, T. (2017). The Zebra Crossing Game—Using game theory to explain a discrepancy between road user behaviour and traffic rules. *Safety science*, 92, 298-301.
- [10] Silvano, A. P., Ma, X., & Koutsopoulos, H. N. (2015). When do drivers yield to cyclists at unsignalized roundabouts? Empirical evidence and behavioral analysis. *Transportation Research Record*, 2520(1), 25-31.
- [11] Räsänen, M., & Summala, H. (1998). Attention and expectation problems in bicycle–car collisions: an in-depth study. *Accident Analysis & Prevention*, 30(5), 657-666.
- [12] Bundesanstalt für Straßenwesen. (2017). Traffic and Accident Data. Abgerufen 07. August 2019 von [https://www.bast.de/BAST\\_2017/EN/Publications/Media/Traffic-and-Accident-Data.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bast.de/BAST_2017/EN/Publications/Media/Traffic-and-Accident-Data.pdf?__blob=publicationFile&v=7).
- [13] Münster passt auf: Verkehrssicherheit in Münster. (2009). Bestandsaufnahme, Pläne, Ziel. Abgerufen 07. August 2019 von <https://www.muenster.de/stadt/stadtplanung/pdf/muenster-passt-auf.pdf>.
- [14] Knake-Langhorst, S., & Gimm, K. (2016). AIM Research Intersection: Instrument for traffic detection and behavior assessment for a complex urban intersection. *Journal of large-scale research facilities JLSRF*, 2, 65.
- [15] Knake-Langhorst, S., Gimm, K., & Köster, F. (2015). AIM Forschungskreuzung-Baustein für den Aufbau von kooperativer Fahrerassistenz und Automation. Intelligente transport-und verkehrssysteme und-dienste niedersachsen, 117-136.
- [16] Knake-Langhorst, S., Gimm, K., Frankiewicz, T., & Köster, F. (2016). Test site AIM–toolbox and enabler for applied research and development in traffic and mobility. *Transportation Research Procedia*, 14, 2197-2206.
- [17] Gimm, K., Knake-Langhorst, S., Dotzauer, M., Urban, U., Arndt, R. (2016). Increasing cyclist safety with infrastructural supported cooperative ADAS in EU XCYCLE by extending test site AIM Research Intersection. *International Cycling Safety Conference 2016*, 03.-04. Nov. 2016, Bologna, Italien.
- [18] Stemmler, E., Oeltze, K., & Schießl, C. (2015). Is driving assisted behaviour infectious? Using spectral analysis to understand car following behaviour of naïve drivers. *IFAC-PapersOnLine*, 48(1), 673-674.

# Menschliche Reaktionen auf hochautomatisierte Fahrzeuge im Mischverkehr auf der Autobahn

Dr.-Ing. **Matthias Kühn**, Unfallforschung der Versicherer, Berlin;  
**Vanessa Stange**, M.Sc., Prof. Dr. **Mark Vollrath**,  
Technische Universität Braunschweig

## Kurzfassung

In den nächsten Jahren werden menschliche Fahrer zunehmend auf hochautomatisierte Fahrzeuge (SAE Level 3) auf der Autobahn treffen. In einer Simulatorstudie wurde untersucht, ob menschliche Fahrer hochautomatisierte Fahrzeuge aufgrund ihres Fahrverhaltens identifizieren können, wie sie deren Verhalten bewerten und ob sie ihr eigenes Fahrverhalten entsprechend anpassen. Dazu interagierten die manuell fahrenden Probanden in ausgewählten Szenarien jeweils mit einem anderen menschlichen Fahrer oder mit einem hochautomatisierten Fahrzeug. Zusätzlich wurde die Wirkung der Kennzeichnung des hochautomatisierten Fahrmodus mittels Statusanzeige nach außen untersucht.

An der Studie nahmen  $N = 51$  Probanden im Alter von 20 bis 71 Jahren (29 männlich) teil. Die Probanden waren im Durchschnitt seit  $M = 18.0$  Jahren ( $SD = 15.4$  Jahre) im Besitz eines Führerscheins. Die Studie wurde im statischen Fahrsimulator der Technischen Universität Braunschweig durchgeführt. Die Szenarien wurden auf einer 2-spurigen Autobahn abgebildet. Sie umfassten das Auffahren auf die Autobahn, das Überholen eines langsamen LKW, das Einscheren lassen eines überholenden Fahrzeugs sowie eine Folgefahrt mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung. Die Probanden erlebten in jeder dieser Fahrsituationen vier Varianten des Zielfahrzeugs, zwei manuelle und zwei hochautomatisierte Varianten. Jede Versuchsperson wurde zufällig in eine von drei Experimentalgruppen eingeteilt, welche sich durch die Art der Kennzeichnung der hochautomatisierten Fahrzeuge unterschieden (keine Kennzeichnung, richtige Kennzeichnung, falsche Kennzeichnung).

Es zeigte sich, dass es aus der Außenperspektive eines menschlichen Fahrers im Mischverkehr recht gut möglich ist, hochautomatisierte Fahrzeuge anhand ihres Fahrverhaltens von menschlichen Fahrern zu unterscheiden. Eine Kennzeichnung beeinflusst diese Einschätzung nur, wenn diese falsch ist. Bei falscher Kennzeichnung fällt die Zuordnung zu automatisiertem

und menschlichem Fahrverhalten weniger eindeutig aus als bei richtiger bzw. nicht vorhandener Kennzeichnung. Damit scheinen bereits bestimmte Erwartungen über das Verhalten hochautomatisierter Fahrzeuge vorhanden zu sein.

Situationsübergreifend bewerteten Probanden die Begegnungen mit hochautomatisierten Fahrzeugen nicht unsicherer, risikoreicher und unangenehmer als Begegnungen mit manuell gesteuerten Fahrzeugen. Auch im Fahrverhalten zeigen sich keine Veränderungen oder Hinweise auf mögliche risikoreiche Interaktionen.

Damit sind hochautomatisierte Fahrzeuge zwar durch ihr Fahrverhalten erkennbar. Dies wird aber nicht so negativ bewertet, dass sich dadurch für menschliche Fahrer gefährliche oder unangenehme Situationen ergeben. Allerdings wurden in der Studie nur einzelne hochautomatisierte Fahrzeuge in wenigen Szenarien untersucht. Interessant wäre es, entsprechende Effekte bei höheren Durchdringungsraten automatisierter Fahrzeuge auf der Autobahn und damit sehr viel häufigeren Interaktionen zu untersuchen.

## 1. Einleitung

Bei der Einführung der Hochautomation werden in den nächsten Jahren auf der Autobahn zunächst selten, dann zunehmend häufiger Begegnungen menschlicher Fahrer mit hochautomatisierten Fahrzeugen stattfinden [1], [2]. Dabei wurde bislang die Frage vernachlässigt, wie menschliche Fahrer in nicht-automatisierten Fahrzeugen auf hochautomatisierte Fahrzeuge im Mischverkehr reagieren. Menschliche Fahrer erwarten von automatisierten Fahrzeugen, dass diese sich für sichere Verhaltensweisen entscheiden, welche die Sicherheit menschlicher Fahrer gewährleisten [3].

Aufgrund der Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen ist damit zu rechnen, dass sich die hochautomatisierten Fahrzeuge anders verhalten werden als menschliche Fahrer. Ein solches Verhalten kann aversiv wahrgenommen werden, wenn dieses aus der Außenperspektive anderer Autofahrer nicht nachvollziehbar ist [4]. Zum Beispiel untersuchten [5], [6] die Wirkung eines Ampelassistenten auf nachfolgende menschliche Fahrer im Mischverkehr. Hierbei zeigte sich, dass menschliche Fahrer teils dichter auf das ausgestattete Fahrzeug auffuhren, sich also sicherheitskritischer verhielten und das unerwartete Verhalten des ausgestatteten Fahrzeugs als aversiv bewerteten. Zusätzliches Wissen über die Funktionalität des Assistenzsystems führte nicht zu weniger Frustration bei menschlichen Fahrern in der Interaktion mit dem

ausgestatteten Fahrzeug [7]. Ob Informationen über den hochautomatisierten Fahrmodus, z.B. mittels einer Kennzeichnung nach außen, auch für menschliche Fahrer im Mischverkehr auf der Autobahn einen Nutzen bringen würde, ist weitgehend unklar. Die empirische Evidenz ist bislang widersprüchlich. Während Google Waymo auf das Anzeigen des automatisierten Fahrmodus nach außen setzt [8], [9], verhielten sich menschliche Fahrer im Fahrsimulator nicht anders gegenüber gekennzeichneten Fahrzeugen [10].

Vor diesem Hintergrund wurde im Februar 2019 die nachfolgend vorgestellte Fahrsimulatorstudie im statischen Fahrsimulator an der TU Braunschweig durchgeführt.

Ziel der Studie war es, die Reaktionen menschlicher Fahrer auf das Fahrverhalten hochautomatisierter Fahrzeuge in Abhängigkeit von der Art der Kennzeichnung zu untersuchen. Dazu stellte sich zunächst die Frage, ob automatisiertes Fahrverhalten aus einer Außenperspektive heraus von menschlichen Fahren identifizierbar ist. Sofern dies möglich ist, ist die Interaktion mit einem hochautomatisierten Fahrzeug dann unangenehmer oder sogar sicherheitskritischer als mit einem anderen manuell gesteuerten Fahrzeug? Zusätzlich zur Differenzierung des Fahrverhaltens wurde in dieser Studie auch das Thema Kennzeichnung des automatisierten Fahrmodus aufgegriffen, da es möglicherweise einen Unterschied in der Bewertung der Interaktion mit einem anderen Fahrzeug macht, welche Informationen ein menschlicher Fahrer über den Fahrmodus eines Fahrzeugs hat.

## 2. Methodik

### 2.1. Versuchsplan und Szenarien

Um die Reaktion menschlicher Fahrer auf hochautomatisierte Fahrzeuge zu untersuchen, wurde in diesem Versuch das Fahrverhalten eines Zielfahrzeugs variiert. Die Probanden erlebten in jedem Fahrszenario jeweils zwei unterschiedlichen Verhaltensvarianten eines automatisierten Zielfahrzeugs und jeweils zwei Verhaltensvarianten eines manuell gesteuerten Zielfahrzeugs. Neben dem tatsächlichen Fahrverhalten der automatisierten und manuellen Zielfahrzeuge in den Fahrszenarien wurde auch die Kennzeichnung des automatisierten Fahrmodus variiert. Dazu wurden die Probanden zufällig einer von drei Versuchsgruppen zugeordnet: (1) Keine Kennzeichnung, (2) richtige Kennzeichnung (die Fahrzeuge mit automatisiertem Fahrverhalten waren als automatisierte Fahrzeuge gekennzeichnet), oder (3) falsche Kenn-

zeichnung (Fahrzeuge mit menschlichem Fahrverhalten waren fälschlicherweise als automatisierte Fahrzeuge gekennzeichnet und umgekehrt). Die Umsetzung der Kennzeichnung des automatisierten Fahrmodus mittels eines blauen Rechtecks um das Zielfahrzeug ist in Bild 1 abgebildet.



Bild 1: Umsetzung der Kennzeichnung des automatisierten Fahrmodus im Fahrimulator

Eine Zusammenfassung des Versuchsplans findet sich in Tabelle 1. Insgesamt erlebte jede Versuchsperson 4 Zielfahrzeugvarianten in zufälliger Reihenfolge in jeweils 4 Fahrszenarien, deren Reihenfolge ebenfalls zufällig gewählt wurde.

Tabelle 1: Versuchsplan und Verteilung der Probanden auf die Bedingungen

		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
	Zutreffende 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

Die Fahrsimulatorstudie wurde im statischen Fahrsimulator der TU Braunschweig durchgeführt. Die Fahrdatenerhebung erfolgte mittels SILAB Version 6 [11] mit einer Frequenz von 100 Hz. Der Fahrsimulator bestand aus einer Sitzkiste mit Fahrer- und Beifahrersitz sowie einem

Lenkrad und Pedalerie. Die Fahrszenarien wurden mit Hilfe von 3 Beamern auf Leinwände projiziert.

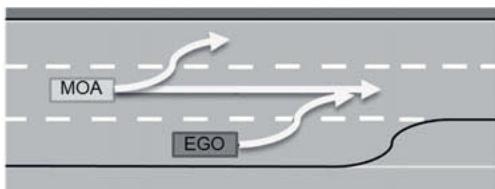
Die Fahrszenarien wurden auf Basis von Experteninterviews ausgewählt. Es wurden ausschließlich solche Fahrszenarien ausgewählt, welche die Hochautomation selbstständig bewältigen kann, d.h. ohne Übergabe der Fahraufgabe an den Fahrer. Daraus ergaben sich vier Fahrszenarien für die vorliegende Studie, die in Tabelle 2 dargestellt sind. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der Situation S01 dargestellt. Da die Ergebnisse der anderen Situationen sich nicht grundlegend davon unterscheiden, wird hier auf eine Darstellung verzichtet. Eine Ergebnisdarstellung aller untersuchten Fahrsituationen befindet sich in [12].

Tabelle 2: Szenarienbeschreibungen

---

#### 01 „Vor das Zielfahrzeug auf die Autobahn auffahren“

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.

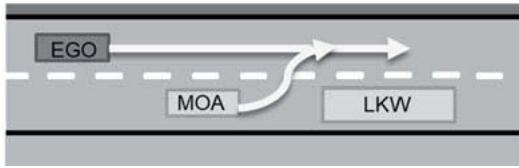


In der Variante Mensch 1 wechselt das Zielfahrzeug auf den linken Fahrstreifen, um dem Probanden den Fahrstreifenwechsel zu erleichtern. In der Variante Mensch 2 beschleunigt das Zielfahrzeug, um dem Probanden nahezulegen, erst hinter ihm aufzufahren. In den automatischen Varianten verzögert das Zielfahrzeug, wenn der Proband die Spur gewechselt hat und hält dann einen großen Abstand von 2.0s (Variante 1) oder 1.8s (Variante 2).

---

**02 „Zielfahrzeug zum Überholen einscheren lassen“**

Der Proband fährt mit 140 km/h auf dem rechten Fahrstreifen (EGO in der Abbildung). Er wechselt dann auf den linken Fahrstreifen, um eine Kolonne langsam fahrender PKW und LKW zu überholen. Unter diesen Fahrzeugen befindet sich ein Zielfahrzeug (MOA: Mensch oder Automation), welches einen langsam vorausfahrenden LKW (80 km/h) überholen wird. Dieses Zielfahrzeug schert dann vor dem Probanden auf die linke Fahrstreifen ein.




---

**03 „Zum Überholen in den Fahrstreifen vor dem Zielfahrzeug wechseln“**

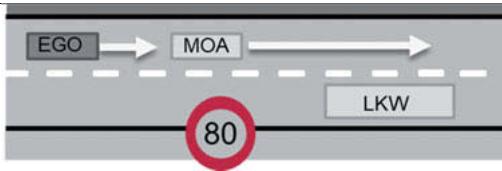
Der Proband (EGO) nähert sich mit 120 km/h einem langsam vorausfahrenden LKW (80 km/h) auf dem rechten Fahrstreifen, während er von schneller fahrenden PKW auf den linken Fahrstreifen überholt wird. Vor dem Zielfahrzeug (MOA) ergibt sich eine größere Lücke, die groß genug ist, um den LKW zu überholen. Der Proband überholt den LKW und schert vor dem Zielfahrzeug auf den linken Fahrstreifen ein.




---

**04 „Zielfahrzeug folgen“**

Der Proband fährt mit 120 km/h hinter dem Zielfahrzeug auf dem linken Fahrstreifen, um eine Kolonne von LKW (80 km/h) zu überholen. Während des Überholvorgangs wird die Geschwindigkeit auf 80 km/h begrenzt. Erst nach Abschluss des Überholvorgangs wird die Geschwindigkeitsbeschränkung aufgehoben.



Anmerkung. MOA = Manuelles oder automatisiertes Zielfahrzeug.

Die Fahrt begann mit einer Trainingsfahrt von circa 5 Minuten 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.

Jeder Proband erhielt vor jeder Fahrsituation eine genaue Beschreibung dieser Situationen, 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.

Nach jeder erlebten Variante der Fahrsituation fuhren die Probanden auf einen Autobahnparkplatz, wo sie zur vorangegangenen Situation befragt wurden. Nach dem Ende der Fahrsimulatorfahrt 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.

## 2.2. Probanden

An der Fahrsimulatorstudie nahmen  $N = 51$  Probanden im Alter von 20 bis 71 Jahren teil ( $M = 34.9$  Jahre,  $SD = 15.1$  Jahre, davon 22 weiblich). Die Teilnehmer 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. Etwa 70% der Probanden

hatten Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen. Die Mehrheit der Probanden (66.8%) hatte bereits mehrmals Erfahrung im Fahrsimulator gesammelt.

### 2.3. Erhobene Daten

Die Probanden bewerteten die Begegnung mit dem Zielfahrzeug nach jeder erlebten Fahrsituation. Tabelle 3 zeigt die abgefragten Dimensionen und die verwendeten Antwortkategorien (5-stufige Likert-Skala) im Überblick.

Tabelle 3: Übersicht über die abgefragten Dimensionen der Verhaltensbewertung.

Dimension	Skala	
Fahrweise	defensiv	dynamisch
Verhalten vorhersagbar	niedrig	hoch
Verhalten kooperativ	wenig	viel
Verärgert über Verhalten	wenig	viel
Verhalten risikoreich	wenig	viel
Verhalten rücksichtslos	wenig	viel
Abstandsverhalten angenehm	wenig	viel
Gesamtbewertung Situation	harmlos	nicht akzeptabel
Fahrverhalten insgesamt	automatisiert	menschlich

Für die Gesamtbewertung der Situation wurde die in Bild 3 dargestellte Skala verwendet, die sich an der Skala zur Bewertung der Kritikalität von Fahr- und Verkehrssituationen von Neukum, Lübbeke, Krüger, Mayser und Steinle (2009) anlehnt.

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

Bild 3: Skala zur Gesamtbewertung der Situation.

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

#### 2.4. Fahrdaten

Die Fahrdaten wurden mit einem Messtakt von 100 Hz aufgezeichnet. Die Ergebnisse werden für die Situation des Auffahrens auf die Autobahn (Situation 01, siehe Tabelle 2) dargestellt. Da sich die Ergebnisse der anderen Situationen nicht grundlegend unterscheiden, wird hier auf eine Darstellung verzichtet. Eine Ergebnisdarstellung aller untersuchten Fahrsituationen befindet sich in [12]. Der Sekundenabstand (Time Headway) der Zielfahrzeuge zum Ego-Fahrzeug wurde beim Auffahren als Indikator für die Kritikalität der Interaktionssituation erhoben, da dieser zeigt, wie dicht vor dem Zielfahrzeug das Ego-Fahrzeug auf die Autobahn wechselte.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Äußerliche Unterscheidbarkeit von automatisierten und manuellen Fahrzeugen

Für die subjektive Einschätzung als automatisiertes oder menschliches Fahrzeug zeigte die Varianzanalyse eine Hauptwirkung des Fahrverhaltens ( $F(1,48) = 22.19, p < .001, \eta^2_{par} = .32$ ), kein Effekt der Kennzeichnung ( $F(2,48) = .44, p = .648$ ), aber eine Wechselwirkung zwischen Fahrverhalten und Kennzeichnung ( $F(2,48) = 9.59, p < .001, \eta^2_{par} = .29$ ). Wie in Bild 4 dargestellt ist, identifizierten die Probanden den Fahrmodus der Zielfahrzeuge deutlich und zutreffend. Eine falsche Kennzeichnung führte hingegen zu weniger eindeutigen Bewertungen. Im Mittel kann dann nicht klar zugeordnet werden, ob die Fahrweise eher menschlich oder eher automatisiert ist.

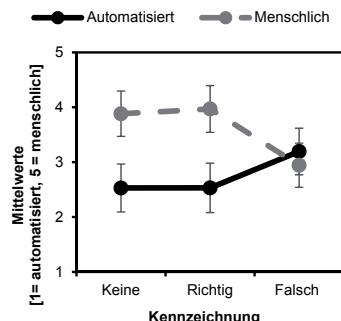


Bild 4: Bewertung des Fahrverhaltens des Zielfahrzeugs als automatisiert (1) oder menschlich (5) in Abhängigkeit von der Art der Kennzeichnung

### 3.2. Verhaltensbewertung der Zielfahrzeugvarianten

Bild 5 zeigt die Verhaltensbewertung der vier Zielfahrzeugvarianten auf den abgefragten Dimensionen als Profildiagramm. Die Verhaltensbewertung der menschlichen Varianten bilden dabei die Extrempunkte. Der Fahrstreifenwechsel (Menschlich 1) wurde dabei als rücksichtsvolles Verhalten sehr positiv bewertet, wohingegen das Beschleunigen hinter dem Probanden (Menschlich 2) als rücksichtsloses, risikoreiches Verhalten insgesamt negativ bewertet wurde. Die Bewertung der beiden automatisierten Varianten lag zwischen diesen Extrempunkten, wobei die Bewertung der Variante Automatisiert 1 geringfügig positiver ausfiel als die Variante Automatisiert 2. Insgesamt liegt das Verhalten der automatisierten Varianten im mittleren, leicht positiven und wenig risikoreichem Bereich.

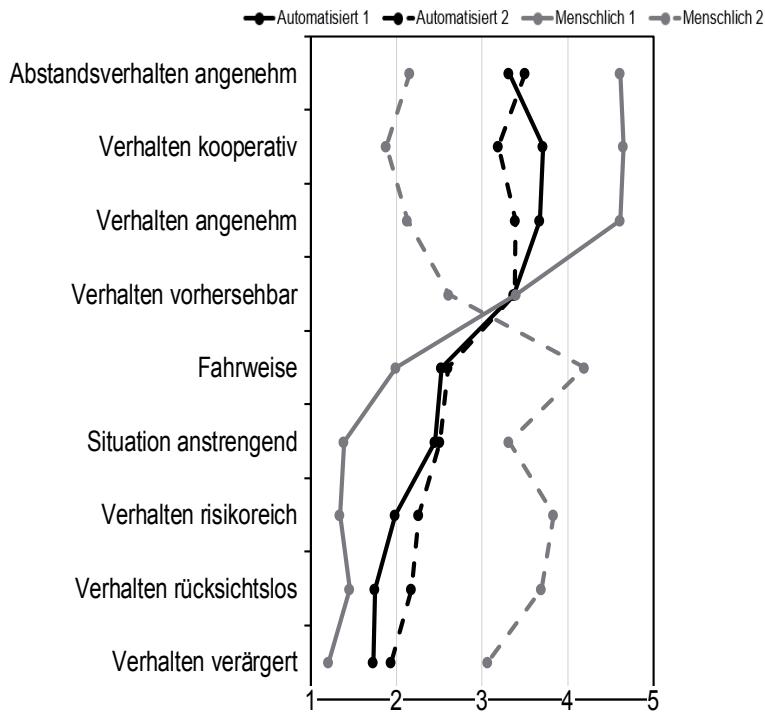


Bild 5: Profildiagramm über die Bewertung der einzelnen Zielfahrzeugvarianten mit vier Linien (Automatisiert 1, Automatisiert 2, Menschlich 1, Menschlich 2) auf den abgefragten Dimensionen mit Skalen (1 = sehr wenig, sehr defensiv bis 5 = sehr viel, sehr dynamisch)

### 3.3. Gesamtbewertung der Fahrsituation

Wie in Bild 6 dargestellt, unterscheiden sich die Begegnungen mit den vier Zielfahrzeugen in der Gesamtbewertung auf der Sicherheitsskala (zweifaktorielle Varianzanalyse), Haupteffekt Variante  $F(3,144) = 39.34, p < .001, \eta^2_{par} = .45$ ). Die Art der Kennzeichnung beeinflusst die Bewertung der Begegnungen hingegen nicht,  $F(2,48) = 1.09, p = .345$ . Auch eine Wechselwirkung findet sich nicht,  $F(3,144) = 1.05, p = .398$ .

Der Fahrstreifenwechsel (Menschlich 1) ist in dieser Fahrsituation die signifikant sicherste Verhaltensweise und liegt im Bereich „harmlos“. Das Beschleunigen im eigenen Fahrstreifen (Menschlich 2) liegt von der Bewertung her im Bereich zwischen „sehr unangenehm“ und „wenig gefährlich“ und ist die signifikant gefährlichste Verhaltensweise. Die beiden automatisierten Varianten liegen zwischen diesen Extrempunkten, wobei diese sich nicht signifikant voneinander unterscheiden.

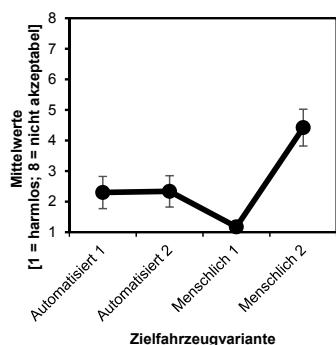


Bild 6: Bewertungen der Zielfahrzeugvarianten auf der Gesamtbewertungsskala der Situation

### 3.4. Fahrdatenanalyse

Bei der Analyse der Sekundenabstände als Indikator für die Kritikalität des Auffahrens wurden 47 von 51 Probanden in die Analyse einbezogen, da 4 Probanden einen Fahrstreifenwechsel vor den Zielfahrzeugen für zu gefährlich hielten.

Wie Bild 7 dargestellt, zeigte sich in der einfaktoriellen Varianzanalyse eine Hauptwirkung der Zielfahrzeugvariante auf den Sekundenabstand, ( $F(2.9,128.4) = 13.77, p < .001, \eta^2_{par} = .24$ ). Die Art der Kennzeichnung beeinflusst den Sekundenabstand hingegen nicht. Paarweise Vergleiche zeigten, dass der Sekundenabstand zur Variante Menschlich 2 im Mittel signifikant

geringer ausfiel als zu den anderen Varianten. Die Beschleunigung des Fahrzeugs in dieser Situation führte damit dazu, dass bei der Fahrstreifenwechsel näher vor diesem Fahrzeug stattfand. Insgesamt scherten hierbei 19 (40%) Probanden mit unter 1s Abstand zum beschleunigenden Folgefahrzeug ein. Vor den beiden automatisierten Zielfahrzeugen scherten 9 (19%) Probanden vor Variante Automatisiert 1 (2.0s Sekundenabstand) und 13 (28%) Probanden vor Variante Automatisiert 2 (1.8s Sekundenabstand) in einem Abstand nach hinten von kleiner als einer Sekunde ein.

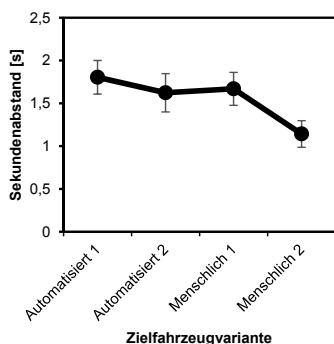


Bild 7: Sekundenabstand zwischen Ego-Fahrzeug und Zielfahrzeug in Abhängigkeit von der Zielfahrzeugvariante

#### 4. Fazit

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

- Automatisierte Fahrzeuge halten einen relativ großen Sekundenabstand nach dem Auffahren, was von den Probanden auch als automatisiertes Verhalten erkannt wird.
- Dieses Verhalten wird als eher angenehm und akzeptabel bewertet.
- Ein Wechsel auf den linken Fahrstreifen erscheint eher menschlich und wird von den Probanden als noch positiver und akzeptabler bewertet.
- Hinter einem Probanden zu beschleunigen wird als wenig angenehm und akzeptabel bewertet.

- Die Kennzeichnung als automatisierte Fahrzeuge erleichtert die korrekte Zuordnung des Verhaltens zum Fahrzeugtyp (manuell vs. automatisiert) nicht. Eine falsche Kennzeichnung erschwert die korrekte Zuordnung.
- Die Kennzeichnung ändert allerdings die Bewertung des Verhaltens nicht. Diese hängt vielmehr wesentlich vom Verhalten selbst ab.

Bereits jetzt scheinen damit Autofahrer für Interaktionssituationen auf der Autobahn recht zutreffende Vorstellungen zu haben, wie sich hochautomatisierte Fahrzeuge verhalten werden. Dieses Verhalten wird auch als akzeptabel und sicher bewertet, wobei aber auch Verhaltensweisen möglich wären, die positiver und kooperativer bewertet werden, wie der Fahrstreifenwechsel der menschlichen Fahrer zeigt. Damit erscheint es durchaus sinnvoll, sich bei der Entwicklung des automatisierten Fahrens nicht nur auf die sichere Bewältigung verschiedener Situationen zu beschränken, sondern darüber hinaus zu versuchen, kooperatives und positiv erlebtes Verhalten zu implementieren.

Obwohl die Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge die Zuordnung in dieser Studie nicht verbesserte, zeigten sich sehr klare negative Effekte einer unzutreffenden Kennzeichnung. Wenn automatisierte Fahrzeuge als solche erkennbar sind, wäre demnach noch wichtiger, klar zu erkennen ob dieses Fahrzeug auch gerade hochautomatisiert fährt. Ein hochautomatisiertes Fahrzeug mit einem menschlichen Fahrer würde dagegen nach den Ergebnissen der Studie zu Unsicherheit und Verwirrung führen. Auch um das weitere Erlernen der Verhaltensweisen der automatisierten Fahrzeuge zu verbessern, wäre eine solche Kennzeichnung „hoch automatisiert aktiv“ außerordentlich wünschenswert.

Diese Studie untersuchte allerdings nur die Begegnung mit einzelnen hochautomatisierten Fahrzeugen in wenigen Fahrsituationen. Weitere Studien sollten häufigere Interaktionen menschlicher Fahrer mit diesen Fahrzeugen in mehr Fahrsituationen über einen längeren Zeitraum hinweg und mit unterschiedlichen Durchdringungsraten von Hochautomation untersuchen, gerade um auch die erwähnten Lernprozesse zu untersuchen, die in der Realität in Zukunft stattfinden werden.

## Literatur

- [1] 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.
- [2] Wachenfeld, W. et al. (2015) Use-Cases des autonomen Fahrens. In Maurer M. et al. (Hrsg.). *Autonomes Fahren* (S.9-37). Berlin: Springer Vieweg.
- [3] Josten, J., Kotte, J. & Eckstein, L. (2019). Expectations of Non-Automated Road Users for Interactions in Mixed Traffic 786, 469 – 480.
- [4] Frehse, B. (2015): Kognitive Bewertungsdimensionen von Ärger im Straßenverkehr. Dissertation. Leuphana Universität, Lüneburg.
- [5] Preuk, K., Stemmler, E., Schießl, C., & Jipp, M. (2016a). Does assisted behavior lead to safety-critical encounters with unequipped vehicles' drivers? *Accident Analysis and Prevention*, 95, 149 – 156.
- [6] Preuk, K., Stemmler, E. & Jipp, M. (2016b). Does surrounding traffic benefit from an assisted driver with traffic light assistance system? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 43, 302–314.
- [7] 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.
- [8] Brown, B., & Laurier, E. (2017). The trouble with autopilots: Assisted and autonomous driving on the social road. *CHI 2017*, May 6-11 2017, Denver.
- [9] Schieben, A., Willbrink, M., Kettwich, C., Madigan, R., Louw, T., & Merat, N. (2018). the interaction of automated vehicles with other traffic participants: design considerations based on human needs and expectations. *Cognition, Technology and Work*, 1 – 17.
- [10] 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> [Abgerufen am 20.05.2019]
- [11] Krueger, H.-P., Grein, M., Kraussner, A., & Mark, C. (2005). SILAB – a task-oriented driving simulation. Proceeding of the driving simulator conference (DSC). Orlando (pp. 232 – 331).
- [12] Stange, V., Vollrath, M., & Kühn, M. (in Bearbeitung). Hochautomatisiertes Fahren auf der Autobahn. Reaktion menschlicher Fahrer auf hochautomatisierte Fahrzeuge im Mischverkehr auf der Autobahn. GDV Forschungsbericht Nr. XX. Berlin: GDV Verlag.





ISBN 978-3-18-092360-4

Bildquelle: iStock – a-image