

I-FAS

Interdisziplinäres Zentrum
für Fahrerassistenzsysteme

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

ABSCHLUSSBERICHT „DRIVEME“ (FKZ: 16SV7119)

Fahrstilmodellierung im hochautomatisierten Fahren auf Basis der Fahrer-
Fahrzeuginteraktion

01.02.2015 – 31.01.2016

Projektleitung

Prof. Dr. Josef F. Krems

Autoren

Hartwich, Franziska; Pech, Timo; Schubert, Daniel; Scherer, Svenja; Dettmann; André;
Beggiato, Matthias; Wanielik, Gerd; Bullinger-Hoffmann, Angelika C.; Krems, Josef



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

Zuwendungsempfänger I-FAS der TU Chemnitz Interdisziplinäres Zentrum für Fahrerassistenzsysteme Prof. Dr. Josef Krems Wilhelm-Raabe-Str. 43 09120 Chemnitz	Förderkennzeichen 16SV7119
Vorhabenbezeichnung DriveMe: Fahrstilmodellierung im hochautomatisierten Fahren auf Basis der Fahrer-Fahrzeuginteraktion	
Laufzeit des Vorhabens 01.02.2015 – 31.01.2016	
Berichtszeitraum 01.02.2015 – 31.01.2016	

Verantwortliche Bearbeiterin

Franziska Hartwich

Wilhelm-Raabe-Straße 43

09120 Chemnitz

Tel: +49 371 531-39689

Email: franziska.hartwich@psychologie.tu-chemnitz.de

Inhalt

Tabellen	5
Abbildungen	6
Zusammenfassung	7
Summary	8
1 Projektbeschreibung	9
1.1 Aufgabenstellung	9
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	9
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	10
1.3.1 Zeitliche Gliederung der Arbeits- und Teilarbeitspakete	10
1.3.2 Beschreibung der Arbeits- und Teilarbeitspakete	11
1.3.2.1 Arbeitspaket 1: Fahrsimulatorstudie	11
1.3.2.2 Arbeitspaket 2: Modellierung	12
1.3.2.3 Arbeitspaket 3: Realfahrtstudie	13
1.3.2.4 Arbeitspaket 4: Visionenpapier und Ergebnisverbreitung	14
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand	14
1.5 Verwendete Konstrukte, Verfahren und Schutzrechte sowie Fachliteratur und Informations- und Dokumentationsdienste	16
1.6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	16
2 Eingehende Ergebnisdarstellung	17
2.1 Arbeitspaket 1: Fahrsimulatorstudie	17
2.1.1 Methodik	17
2.1.2 Kernergebnisse	20
2.2 Arbeitspaket 2: Modellierung	23
2.2.1 Methodik	24
2.2.2 Kernergebnisse	25
2.3 Arbeitspaket 3: Realfahrtstudie	27
2.3.1 Methodik	27
2.3.2 Kernergebnisse	30
2.4 Zusammenschau der Ergebnisse aus Fahrsimulator- und Realstudie	34

2.5	Arbeitspaket 4: Visionenpapier und Ergebnisverbreitung	35
2.6	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	35
2.7	Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	36
2.8	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	40
2.9	Erfolgte / geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	40
2.9.1	Laufende studentische Abschlussarbeiten	40
2.9.2	Tagungsbeiträge	40
2.9.3	Geplante Veröffentlichungen und Verwertung	41
3	Literaturverzeichnis	42
4	Anhänge	44
4.1	Conference paper zur 8. VDI-Tagung „Der Fahrer im 21. Jahrhundert“ (10.-11.11.2015).....	44
4.2	Conference paper zur 7. Tagung Fahrerassistenz (25.-26.11.2015).....	56

Tabellen

<i>Tabelle 1.</i> Zeitliche Gliederung der Arbeits- und Teilarbeitspakete.....	10
<i>Tabelle 2.</i> Aufbau der Teststrecke in der Fahrsimulatorstudie.	18
<i>Tabelle 3.</i> Überblick über die geplante Verwertung der Projektergebnisse.	41

Abbildungen

<i>Abbildung 1.</i>	Grade der Fahrzeugautomatisierung nach Gasser (2013).....	15
<i>Abbildung 2.</i>	Untersuchungsdesign der Fahrsimulatorstudie.	17
<i>Abbildung 3.</i>	Versuchsaufbau der Fahrsimulatorstudie mit Handregler und synchronisierte Visualisierung der Handreglerwerte im aufgezeichneten Video der Fahrsimulation.....	19
<i>Abbildung 4.</i>	Einfluss der System-Ersterfahrung im Fahrsimulator (links) und des hochautomatisierten Fahrstils (rechts) auf die Akzeptanz des hochautomatisierten Fahrens.	21
<i>Abbildung 5.</i>	Aufsummierte Handreglerwerte über alle Probanden und Fahrten hinweg im Streckenverlauf. .	21
<i>Abbildung 6.</i>	Aufsummierte Handreglerwerte im Streckenverlauf, getrennt nach Altersgruppe und Fahrstil...	22
<i>Abbildung 7.</i>	Vorgehen zur Modellentwicklung in AP 2.	23
<i>Abbildung 8.</i>	Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe verschiedener Fahrer beim Übergang von Szenario 10 (Autobahnabfahrt) zu 11 (Anhalten an Stoppschild).	24
<i>Abbildung 9.</i>	Handreglersignale eines Fahrers (oben) in Bezug auf drei unterschiedliche automatisierte Anhaltemanöver (unten). Hierbei wurde das blaue Fahrprofil als komfortabel bewertet.	25
<i>Abbildung 10.</i>	Geschwindigkeitsprofil der „schnelleren Fahrt“.....	26
<i>Abbildung 11.</i>	Geschwindigkeitsprofil der „langsameren“ Fahrt.	26
<i>Abbildung 12.</i>	Teststrecke der Realfahrstudie auf dem Sachsenring.	27
<i>Abbildung 13.</i>	Testparcours der Realfahrstudie.	28
<i>Abbildung 14.</i>	Testfahrzeug der Fahrsimulatorstudie in der Außen- (links) und Innen- (rechts) Ansicht.....	28
<i>Abbildung 15.</i>	Sequenz der absolvierten Fahrten in der Realfahrstudie.	28
<i>Abbildung 16.</i>	Beispielhafte Darstellung eines Items zur Einschätzung des Zeitpunktes der Beschleunigung ..	29
<i>Abbildung 17.</i>	Fahrerbewertung des Beschleunigungszeitpunktes der drei hochautomatisierten Fahrstile.	30
<i>Abbildung 18.</i>	Fahrerbewertung des Beschleunigungsverlaufes (links) und der Beschleunigungsstärke (rechts) der drei hochautomatisierten Fahrstile.....	31
<i>Abbildung 19.</i>	Fahrerbewertung des Verzögerungsverlaufes (links) und –zeitpunktes (rechts) der drei hochautomatisierten Fahrstile.	31
<i>Abbildung 20.</i>	Fahrerbewertung der Verzögerungsstärke der drei hochautomatisierten Fahrstile.	32
<i>Abbildung 21.</i>	Fahrspaß (links) und Fahrkomfort (rechts) während der drei hochautomatisierten Fahrstile.	32
<i>Abbildung 22.</i>	Aufsummierte Handreglerwerte für jede der drei hochautomatisierten Fahrten.	33
<i>Abbildung 23.</i>	Entwicklung der Systemakzeptanz über die Fahrsimulatorstudie und Realfahrstudie hinweg....	34
<i>Abbildung 24.</i>	Ergebnispräsentation und Kleingruppen-Diskussion im Rahmen des Expertenworkshops.....	35

Zusammenfassung

Hochautomatisiertes Autofahren eröffnet neue Möglichkeiten des Zugangs und Erhalts individueller Mobilität für alle Altersgruppen. Die damit einhergehende Veränderung der Fahrerrolle vom aktiven Lenker zum zunehmend passiven Systemüberwacher wirft jedoch neue Fragen der Mensch-Technik-Interaktion auf. Eine zentrale Rolle dabei spielt der Fahrstil, dem ein entscheidender Einfluss auf das Fahrerleben beim hochautomatisierten Fahren zugesprochen wird. Im Rahmen des Projektes DriveMe wurde untersucht, wie dieser Fahrstil gestaltet sein sollte, um trotz veränderter Fahrerrolle ein positives Fahrerleben zu erzeugen. Der Fokus lag dabei auf der Frage, inwieweit die Modellierung des hochautomatisierten Fahrstils auf Basis der individuellen manuellen Fahrweise jedes Fahrers zu einem komfortablen Fahrerleben beitragen kann. Um die Frage zu beantworten, wurden eine Fahrsimulatorstudie und eine Realfahrstudie auf einem Testgelände durchgeführt. Im Rahmen der zweistufigen Fahrsimulatorstudie erlebten 20 jüngere (25 – 45 Jahre) und 20 ältere (65 – 85 Jahre) Versuchsteilnehmer eine manuelle Fahrt sowie insgesamt vier unterschiedlich parametrisierte hochautomatisierte Fahrten im Fahrsimulator und bewerteten diese im Rahmen von anschließenden Interviews und Fragebogenbefragungen in Bezug auf Fahrkomfort, Fahrspaß und Akzeptanz. Fahrkomfort wurde zudem während jeder hochautomatisierten Fahrt online mit Hilfe eines Handreglers erhoben. In Bezug auf alle abhängigen Variablen zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Altersgruppen: Während eine Orientierung des hochautomatisierten Fahrstils an die individuelle Fahrweise von jüngeren Fahrern als angenehm erlebt wird, führt diese Strategie bei älteren Fahrern nicht zum bestmöglichen Fahrerleben. Diese bevorzugten im hochautomatisierten Kontext stattdessen ebenfalls einen stereotypisch jüngeren (das heißt vor allem schnelleren) Fahrstil als ihren eigenen. Die Ergebnisse der Fahrsimulatorstudie wurden im Rahmen der Realfahrstudie für die 20 jüngeren Fahrer unter Feldbedingungen überprüft. Dazu erlebten die Versuchsteilnehmer drei automatisierte Fahrprofile (das eigene, ein „schnelles“, ein „langames“) im Versuchsfahrzeug und bewerteten diese während und nach den Fahrten in Bezug auf Fahrkomfort sowie nach den Fahrten bezüglich Akzeptanz. Wie im Fahrsimulator erhielten dabei die eigene Fahrt oder der schnelle Fahrstil die besten Bewertungen, während der langsame Fahrstil abgelehnt wurde. Die Ergebnisse der beiden Studien zeigen, dass hochautomatisiertes Fahren im Mittel grundsätzlich als komfortabel erlebt wird, was sich auch in einer positiven Einstellung potentieller zukünftiger Nutzer gegenüber der Technologie widerspiegelt. Eine Orientierung des hochautomatisierten Fahrstils am individuellen Fahrverhalten jedes Fahrers erwies sich nicht für jede Fahrergruppe als geeignet zur Verbesserung des Fahrerlebens. Beide Altersgruppen bevorzugten einen als zügig, aber vorausschauend beschriebenen Fahrstil, welcher dem extrahierten schnelleren Fahrprofil beziehungsweise der stereotypischen Fahrweise der jüngeren Altersgruppe entsprach. Auf Basis der Ergebnisse konnten zudem neue Forschungsfragen, beispielsweise nach dem Einfluss von Nebenaufgaben oder Kontextfaktoren auf das Fahrerleben, abgeleitet und somit eine Roadmap für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte auf dem Gebiet des Fahrerlebens beim hochautomatisierten Fahrens skizziert werden.

Summary

Highly automated driving opens up new opportunities to access and obtain individual mobility for all ages. But the associated change of the driver's role from the active driver to an increasingly passive system supervisor raises new questions of human-machine-interaction. One essential aspect in this context is driving style, as it is expected to have a large impact on drivers' experience of highly automated driving. Within the project DriveMe, it was investigated how this driving style could be designed in order to generate a positive drivers' experience. The main question was if basing the highly automated driving style on the individual manual driving style of each driver can contribute to a comfortable drivers' experience. To answer this question, a driving simulator study and a field study on a test track were conducted. Within the two-stage driving simulator study, 20 younger (25 – 45 years) and 20 older (65 – 85 years) participants experienced one manual drive and four differently parameterized highly automated drives and rated them in terms of driving comfort, driving joy, and acceptance via interviews and questionnaires after each drive. In addition, driving comfort was assessed online during each highly automated drive using a handset control. Considerable differences between the age groups could be found in relation to all dependent variables: While a highly automated driving style based on each driver's individual manual driving style is perceived as pleasant by younger drivers, it does not result in the optimum drivers' experience for older drivers. In contrast, this age group prefers a highly automated driving style that is more stereotypical for younger drivers (that is primarily a faster driving style). The results of the driving simulator study were reviewed for the 20 younger drivers under realistic driving conditions within the field study. Participants experienced three automated driving profiles (one's own, a "fast" one, a "slow" one) in the test vehicle and assessed them during and after each drive in terms of driving comfort as well as after each drive in terms of acceptance. Comparable to the results of the driving simulator study, the own as well as the fast driving style achieved the best ratings, whereas the slow driving style was rejected. Results of both studies show that highly automated driving is experienced as comfortable, which is also reflected by a positive attitude of potential future users towards this technology. An orientation of the highly automated driving style towards the individual driving style of each driver did not turn out as the most suitable strategy to improve drivers' experience of each group of drivers. Both of the age groups preferred a driving style described as speedy but forward-looking, which corresponded to the extracted faster driving profile or the stereotypical driving style of the younger age group. Based on these results, new research questions were generated, for example regarding the influence of secondary tasks or contextual factors on drivers' experience, and thus a roadmap for future research and development projects on drivers' experience in the context of highly automated driving could be outlined.

1 Projektbeschreibung

Hochautomatisiertes Autofahren eröffnet neue Möglichkeiten des Zugangs und Erhalts individueller Mobilität für alle Altersgruppen. Die damit einhergehende Veränderung der Fahrerrolle vom aktiven Lenker zum zunehmend passiven Systemüberwacher wirft neue Fragen der Mensch-Technik-Interaktion auf. DriveMe fokussiert auf einen grundlegenden Aspekt dieser Thematik: *Wie kann auf Basis der manuellen Fahrweise ein individuell angepasster automatisierter Fahrstil modelliert werden, der als angenehm erlebt wird?* Eine als komfortabel erlebte Fahrweise stellt eine Grundbedingung für die breite Akzeptanz automatisierten Fahrens dar. In DriveMe wurde dieses Forschungsthema in einer zweistufigen Fahrsimulatorstudie und einer Realfahrtstudie auf einer Teststrecke adressiert. Die gewonnenen Erkenntnisse und Visionen der Umsetzung wurden zusammen mit Experten und Vertretern der Industrie in einem Workshop diskutiert.

1.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung im wissenschaftlichen Vorprojekt DriveMe adressiert grundlegende Wissenslücken im Bereich der Mensch-Technik-Interaktion beim automatisierten Fahren sowie erste Ansätze der Umsetzung. Diesbezüglich wurden in DriveMe drei konkrete Projektziele formuliert:

- 1) Unterschiede im Erleben einer Fahrt als aktiv Fahrender und „Passagier auf dem Fahrersitz“ aufzeigen und erklären,
- 2) reelle Fahrparameter aus einer Fahrsimulatorstudie abzuleiten, um Hinweise für die Parametrisierung einer als angenehm erlebten automatisierten Fahrt zu liefern und
- 3) Modelle für den Transfer der Parameter vom eigenen Fahrstil zum optimalen automatisierten Fahrstil zu entwickeln.

Ein weiteres Projektziel war es, die Studienergebnisse sowie entwickelte Methoden und Modelle durch wissenschaftliche Veröffentlichungen und einen DriveMe-Workshop für nachfolgende Projekte und Untersuchungen nutzbar zu machen.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Interdisziplinäre Zentrum für Fahrerassistenzsysteme (I-FAS) der TU Chemnitz bündelt Kompetenzen aus den Bereichen Sensordatenfusion (Prof. Dr. Gerd Wanielik), Psychologie (Prof. Dr. Josef Krems) und Ergonomie (Prof. Dr. Angelika C. Bullinger-Hoffmann). Dadurch konnten inhaltliche und methodische Kenntnisse aus den Fachgebieten der Human- und Ingenieurwissenschaften in das Projekt eingebracht und verknüpft werden.

Die Mitglieder des I-FAS sind maßgeblich an nationalen wie internationalen Forschungsprojekten zur Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, Fahrzeugumfeldererkennung und Fahrerassistententwicklung mit zunehmend höheren Automatisierungsgraden beteiligt. Für das vorliegende Projekt waren insbesondere die aktuellen Projekte ViFa 65plus, UR:BAN sowie ADAPTATION relevant. Im Projekt ViFa 65plus

(<http://www.vifa65plus.de>) wurde der Unterstützungsbedarf älterer Fahrer mittels Befragung und Fahrsimulatorstudien situationsspezifisch ermittelt und geeignete Verfahren zur Fahrzeugumfeldererkennung erarbeitet. Im Projekt UR:BAN (<http://urban-online.org/>) ist das I-FAS an der Entwicklung von Verfahren zur Verhaltensprädiktion und Intentionserkennung beteiligt mit dem Ziel der Umsetzung adaptiver Mensch-Technik-Interaktion im Fahrzeug. Im Marie-Curie-Projekt ADAPTATION (Beggiato & Krems, 2013) wurden Akzeptanz, Vertrauen sowie Lernprozesse bei teilweiser Automatisierung der Fahrzeuglängsführung untersucht. Weitere Hinweise auf laufende und abgeschlossene Projekte finden sich auf <http://www.i-fas.de>.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt war in vier Arbeitspakete mit Teilarbeitspaketen gegliedert. In allen Arbeitspaketen waren schwerpunktmäßig Mitarbeiter der drei im I-FAS verbundenen Professuren in den jeweiligen professurspezifischen Kernkompetenzen parallel tätig. Nachfolgend werden die Zeit- und Ressourcenplanung sowie die inhaltliche Beschreibung der durchgeführten Arbeits- und Teilarbeitspakete dargestellt. Alle Arbeitsschritte wurden dem beantragten Zeit- und Kostenplan entsprechend durchgeführt.

1.3.1 Zeitliche Gliederung der Arbeits- und Teilarbeitspakete

Für die Durchführung der vier Arbeitspakete inklusive aller Teilarbeitspakete war ein Zeithorizont von insgesamt 12 Monaten geplant. Tabelle 1 zeigt die genaue inhaltliche und zeitliche Einordnung aller Arbeits- und Teilarbeitspakete des Projektes.

Tabelle 1. Zeitliche Gliederung der Arbeits- und Teilarbeitspakete.

Monat / Arbeitspakete (AP) und Teilarbeitspakete (TAP)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
AP 1: Fahrsimulatorstudie												
TAP 1.1: Vorbereitung												
TAP 1.2: Referenzfahrt												
TAP 1.3: Erstellung neuer Fahrten												
TAP 1.4: Automatische Fahrten												
Meilenstein 1: Machbarkeit Fahrstilmodellierung Simulator												
AP 2: Modellierung												
TAP 2.1: Analyse												
TAP 2.2: Recherche und Verfahrenswahl												
TAP 2.3: Entwicklung und Implementierung der Transferfunktion												

TAP 1.3 Erstellung neuer Fahrten

Die aufgezeichneten hochautomatisierten Fahrten mit der Handregler-Bewertung wurden in diesem Teilarbeitspaket zusammen mit den Interviews analysiert. Dabei wurde der Fokus auf Fahrtpassagen gelegt, die als weniger angenehm erlebt wurden: Ersichtlich wurde dies auf Messdatenebene durch die Werte des Handreglers als auch auf Interviewebene durch die subjektiv genannten Einschätzungen der Probanden. Auf Basis dieser Resultate wurde entschieden, nach welchem Vorgehen die hochautomatisierten Fahrten auf Basis anderer als des eigenen Fahrstils für TAP 1.4 erstellt werden sollten.

TAP 1.4 Bewertung der neuen automatischen Fahrten

In einem zweiten Termin durchfuhren dieselben Probanden die Strecke erneut mehrfach als Passagiere auf dem Fahrersitz. Die einzelnen Fahrten basierten auf verschiedenen Fahrstilen und wurden randomisiert vorgegeben, um Reihenfolgeeffekten vorzubeugen. Auch hier wurde jede der Fahrten mittels Fahrkomfort-Handregler und anschließender Interviews und Fragebögen hinsichtlich des Fahrerlebens und der Systemakzeptanz bewertet.

1.3.2.2 Arbeitspaket 2: Modellierung

Das Arbeitspaket 2 wurde in den Projektmonaten 4 bis 9 durchgeführt und zur erfolgreichen Realisierung der Modellierungsergebnisse im Versuchsträger in enger Zusammenarbeit mit AP 3 bearbeitet. In AP 2 wurden die in AP 1 aufgenommenen Messdaten analysiert und ein Verfahren zur Abbildung von manuellen Fahrten in als komfortabel empfundene automatisierte Fahrten entwickelt (Transferfunktion). Dazu wurden relevante Szenarien identifiziert, analysiert, durch mathematisch parametrierbare Funktionen abgebildet und mittels Softwaremodulen dem Versuchsfahrzeug zugänglich gemacht. Arbeitspaket 2 bestand aus drei Teilarbeitspaketen:

TAP 2.1 Analyse

In diesem ersten Teilarbeitspaket wurden zunächst die in AP 1 erfassten Messdaten ausgewertet. Zunächst erfolgte die Identifikation von Streckenabschnitten mit hohem Diskomfort (Handreglersignal). Anschließend wurden diese Abschnitte in ihre elementaren Manöver unterteilt und für diese Manöver die charakteristischen und manöverbeschreibenden Parameter sowie deren Variation im Zusammenhang mit den Diskomfortbewertungen und Interviewergebnissen ausgewertet.

TAP 2.2 Recherche und Verfahrenswahl

Das Teilarbeitspaket 2.2 befasste sich mit der Wahl eines geeigneten Verfahrens zur Darstellung und Erzeugung eines fahrerindividuellen Fahrprofils aus manuellen Fahrten. Dabei standen die mathematische Modellierung des Fahrprofils, die Übertragbarkeit aus manuellen Fahrten sowie die Abbildbarkeit durch ein reales Fahrzeug im Vordergrund.

TAP 2.3 Entwicklung und Implementierung der Transferfunktion

Aufbauend auf den Ergebnissen der TAP 2.1 und 2.2 war für dieses Teilarbeitspaket die Umsetzung und Anwendung des gewählten Verfahrens geplant. Es wurden für die Realfahrstudie in AP 3 verschiedene Modellfunktionen erstellt und geeignet parametrisiert. Für ihren Einsatz im Fahrzeug in der Realfahrtstudie wurden diese als Softwaremodule implementiert und getestet. Die Integration der Softwaremodule im Fahrzeug erfolgte begleitend.

1.3.2.3 Arbeitspaket 3: Realfahrtstudie

Das Arbeitspaket 3 wurde in den Projektmonaten 7 bis 11 durchgeführt. Es diente der Überprüfung ausgewählter im Fahrsimulator ermittelter Parameter der Längsführung zusammen mit den Ergebnissen der Fahrprofil-Modellierung aus AP 2 in der Realfahrt auf der Teststrecke. Auf der Teststrecke absolvierten insgesamt 20 Probanden drei automatisierte Fahrten mit einem instrumentierten Versuchsfahrzeug.

Arbeitspaket 3 wurde in drei Teilarbeitspaketen realisiert:

TAP 3.1 Systemaufbau und Vortests

Die Umgebungssensorik des Versuchsfahrzeuges wurde an den Versuchsaufbau angepasst. Die Umgebungserfassung sowie die Innenraumerfassung des Versuchsträgers wurden mit Kamerasensoren realisiert. Eine Fahrzeuglokalisierung auf der Versuchsstrecke erfolgte über die Fusion der Umfelderkennung, GPS Sensoren und digitaler Karten. Außerdem wurde das Versuchsfahrzeug mit Aufzeichnungstechnik zur Erfassung des Probandenverhaltens im Versuch ausgestattet. Ein System zur Umsetzung der automatischen Brems- und Beschleunigungsmanöver wurde in das Fahrzeug integriert. Die Implementierung erfolgte unter Beachtung der Übersteuerbarkeit durch den Probanden. Der Handregler aus AP 1 wurde zur Erfassung des Probandenfeedbacks während der automatisierten Fahrten in das Fahrzeug integriert. Mit dem Versuchsfahrzeug wurden mehrere Vortests durchgeführt. Dabei wurden die Arbeitsabläufe im Versuch und die Funktionsfähigkeit der technischen Systeme überprüft und gegebenenfalls korrigiert. Der genaue Streckenverlauf auf der Teststrecke wurde festgelegt und geprüft.

TAP 3.2 Probandentest

Anschließend wurde der Realfahrversuch auf einer abgeschlossenen Textstrecke mit 20 Probanden durchgeführt. Er beinhaltete pro Proband eine Übungsfahrt, eine manuelle Fahrt und drei unterschiedlich parametrisierte hochautomatisierte Fahrten im Testfahrzeug. Alle automatisierten Fahrten wurden anschließend mittels standardisierter Fragebögen und leitfadengestützter Interviews hinsichtlich Fahrerleben und Akzeptanz bewertet. Zusätzlich wurde während aller automatisierter Fahrten der Handregler analog zur Fahrsimulatorstudie als Online-Maß für den empfundenen Fahrkomfort eingesetzt. Diese Daten sowie die ebenfalls aufgezeichneten Fahrzeugdaten bildeten die Basis der Versuchsauswertung in AP 3.3.

TAP 3.3 Datenanalyse und Auswertung

Die Daten aus dem Fahrsimulatorversuch, dem Fahrversuch auf Teststrecke und die Fragebogendaten wurden in eine am I-FAS eingerichtete und laufend eingesetzte datenbankbasierte Analyseumgebung eingepflegt, welche die Verknüpfung der Messdaten von Sensoren (z.B. aus dem Fahrzeug) und subjektiven Daten aus den Probandenbefragungen ermöglicht. Die Integration der Daten in der gemeinsamen Analyseumgebung erlaubte die Bewertung der Übertragbarkeit der im Fahrsimulator gefundenen Ergebnisse in die reale Fahrumgebung. Durch korrelationsstatistische Verfahren konnten Übereinstimmungen zwischen Fahrparameteränderungen und subjektiver Bewertung in beiden Umgebungen quantifiziert werden, um so Aussagen über die von den Fahrern präferierten hochautomatisierten Fahrstile treffen zu können.

1.3.2.4 Arbeitspaket 4: Visionenpapier und Ergebnisverbreitung

Das Arbeitspaket 4 in den Projektmonaten 11 bis 12 diente der Erstellung eines Visionenpapiers, in dem aus den Projektergebnissen resultierende, für den Forschungsgegenstand neue relevante Fragestellungen erörtert werden sollten. Eine Fokussierung auf industrie- und forschungsrelevante Beantwortung der Forschungsfragen erfolgte durch die Durchführung eines Expertenworkshops. Daneben sah das Arbeitspaket die Vorstellung der Projektergebnisse auf verschiedenen Konferenzen vor.

Arbeitspaket 4 beinhaltete zwei Teilarbeitspakete:

TAP 4.1 Visionenpapier

Ausgangspunkt war eine zusammenfassende Präsentation und Diskussion der Ergebnisse in einem Expertenworkshop mit Vertretern des Projekts und aus der Industrie. Durch diesen Prozess und die Integration der Ergebnisse in das Visionenpapier wurde ein nachhaltiger Wissenstransfer in Industrie und zukünftige Forschungsvorhaben gewährleistet. Mit dem Visionenpapier sollte somit eine Roadmap für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte skizziert werden.

TAP 4.2 Ergebnisverbreitung

Zur Publikation der Projektmethoden und Projektergebnisse beinhaltete AP 4 zudem Beiträge auf themenverwandten Fachkonferenzen.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Das Themengebiet des automatisierten Fahrens versteht sich als Weiterführung der Fahrerassistenz und stellt einen relativ neuen Forschungszweig dar. Im Fokus der Forschung steht die technische Realisierung des automatisierten Fahrens (Guizzo, 2011; Urmson et. al. 2008; Wille et. al. 2010; Sung & Kwak 2010). Veröffentlichungen hierzu beziehen sich auf verschiedenste Bereiche, wie Sensoren-Aktoren (Sung & Kwak 2010), Umfelderkennung, Situationserkennung, Manövrieren (Wille & Form 2008; Chen et. al. 2013) und

Navigieren. Aber auch die Vereinheitlichung und allgemeine Einordnung der Begrifflichkeiten ist ein Thema wissenschaftlicher Veröffentlichungen. Abbildung 1 zeigt die Begriffsdefinition in Bezug auf die Automatisierungsgrade nach Gasser (2013). Hierbei ist ersichtlich, dass mit zunehmenden Grad der Automatisierung die Aktivität und auch die Verantwortung des Fahrers abnehmen. Muss dieser bei der Teilautomatisierung noch das System überwachen und jederzeit eingriffsbereit sein, kann er sich beim hochautomatisierten Fahren Tätigkeiten abseits der Fahraufgabe widmen. Das Fahrzeug erkennt selbstständig seine Systemgrenzen und fordert den Fahrer innerhalb einer bestimmten Zeitreserve zum Übernehmen der Fahraufgabe auf, wenn die Bedingungen für eine automatisierte Fahrt nicht mehr erfüllt sind. Vollautomatisierte Fahrzeuge überführen sich bei Nichtreagieren des Fahrers selbstständig in einen „risikominimalen Zustand“ (Gasser, 2013).

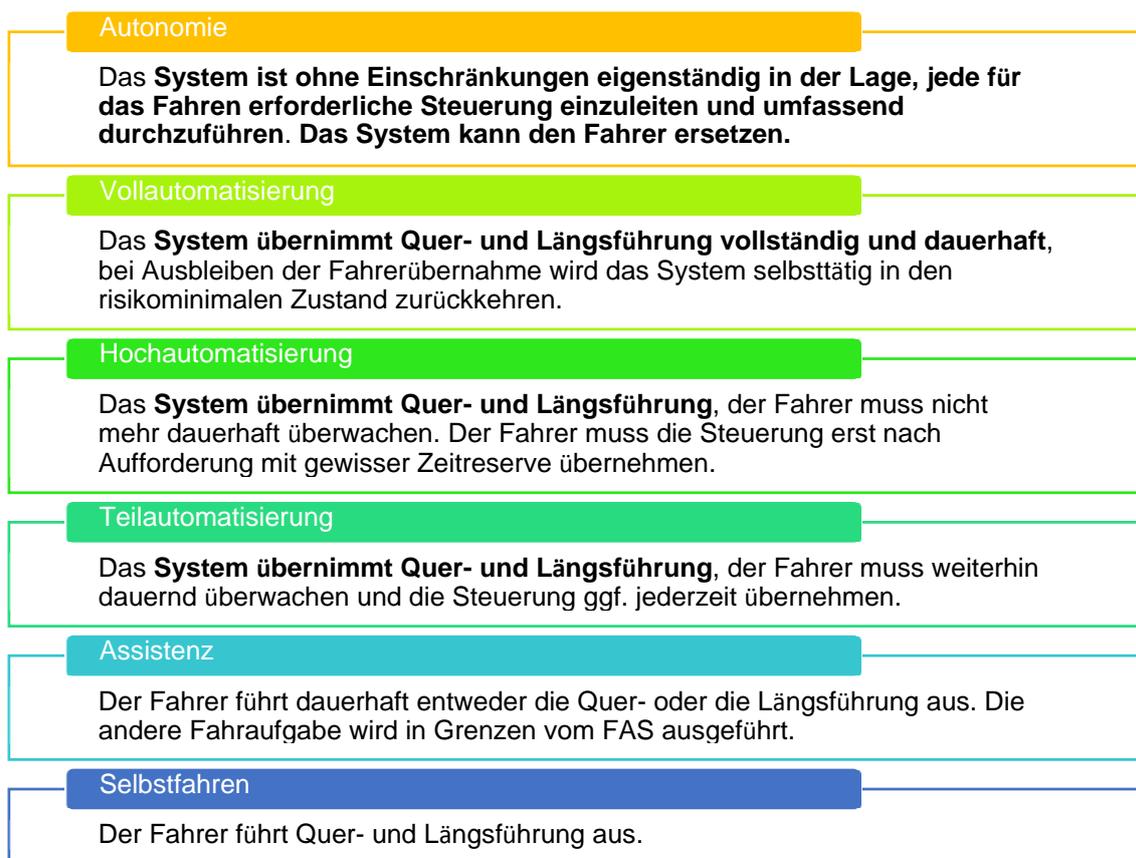


Abbildung 1. Grade der Fahrzeugautomatisierung nach Gasser (2013).

In Bezug auf den Fahrer, der mit ansteigendem Automatisierungsgrad mehr und mehr zum „Gefahrenen“ wird und letztendlich auch seine Überwachungsfunktion verliert, gibt es aufgrund der innovativen Thematik nur wenige Studien. Somit liegen auch kaum Erkenntnisse darüber vor, wie der Fahrer wirklich gefahren werden will und wie die Mensch-Maschine-Interaktion für automatisiertes Fahren in Abhängigkeit von den in Abbildung 1 gezeigten Stufen gestaltet sein sollte. Diesem Aspekt wird der größte Forschungsbedarf im Kontext automatisierten Fahrens attestiert (Gasser, 2013). Wie die Mensch-Maschine-Interaktion in Abhängigkeit von einem steigenden Automatisierungsgrad aussehen kann, zeigt beispielsweise der Ansatz des kooperativen Fahrens (Löper et. al., 2008). Die Fahraufgabe wird dort durch Fahrzeug und Fahrer

zusammen bearbeitet. Somit lässt sich potentiell das Fahrzeugverhalten sukzessive an den Fahrer anpassen ohne Sicherheitsgrenzen zu überschreiten. Ammon (2013) leitet die Funktionsanforderungen für autonomes Fahren aus Real-Fahrdaten mit konventionellen Fahrzeugen ab. Bei Autobahnfahrten treten z.B. nur geringe Längs- und Quereschleunigungen auf: 99,5% aller erfassten Werte auf der Autobahn liegen unter $1,7\text{m/s}^2$ für die Längsbeschleunigung und 2m/s^2 für die Quereschleunigung. Diese Grenzwerte spielen eine wichtige Rolle in der Konzeption eines optimierten Fahrstils für autonome Fahrzeuge. Jedoch wurde nicht untersucht, wie eine solche Fahrweise vom Fahrer wahrgenommen wird, insbesondere wenn er nicht aktiv selbst fährt.

1.5 Verwendete Konstrukte, Verfahren und Schutzrechte sowie Fachliteratur und Informations- und Dokumentationsdienste

Zur Bearbeitung des Projektes wurde zur Vorbereitung und Gestaltung einzelner Arbeitsinhalte Fachliteratur aus den Bereichen der Psychologie, Arbeitswissenschaften, Mathematik sowie der Verkehrsforschung verwendet (siehe Literaturverzeichnis).

Zur Erfassung des Fahrerlebens nach den Fahrten sowie soziodemographischer und persönlichkeitspezifischer Kontrollvariablen in den Probandenstudien wurden standardisierte Fragebögen verwendet. Diese können im Detail Kapitel 2.1 entnommen werden.

Bei der Datenanalyse wurden anerkannte deskriptive und inferenzstatistische Verfahren angewendet. Für die Modellierung der Fahrprofile wurden Verfahren der numerischen Mathematik herangezogen, um Manöver parametrisierbar abzubilden und zu editieren.

Erhobene Messdaten in den durchgeführten Studien im Fahrsimulator und im Realfahrzeug sowie Fragebogendaten wurden zur verbesserten Handhabung, Zugriffsregelung und Auswertung in einem am I-FAS eingerichteten relationalen Datenbankmanagementsystem eingepflegt (PostgreSQL 9.1).

1.6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im beantragten Projekt waren keine weiteren direkt beteiligten Partner vorgesehen. Kooperationen mit externen Stellen gab es mit dem Sachsenring für die Durchführung der Realfahrstudie sowie mit Industriepartnern des I-FAS im Rahmen des Abschlussworkshops (Volkswagen AG, BMW AG, Daimler AG und design affairs GmbH).

2 Eingehende Ergebnisdarstellung

Die Fragestellungen des Projektes wurden planmäßig in vier Arbeitspaketen beantwortet, deren Methodik und Ergebnisse im Folgenden dargestellt werden.

2.1 Arbeitspaket 1: Fahrsimulatorstudie

Zur Untersuchung grundlegender Zusammenhänge zwischen Fahrmodus, Fahrstil und Fahrerleben unter sicheren und technisch uneingeschränkten Versuchsbedingungen wurde eine zweistufige Studie im Fahrsimulator der TU Chemnitz durchgeführt. Im Fokus der ersten Experimentalstufe standen die Auswirkungen des Fahrmodus (manuelles versus hochautomatisiertes Fahren) auf das Fahrerleben. In der zweiten Experimentalstufe, welche circa sechs Wochen nach Stufe 1 durchgeführt wurde, wurde der Einfluss des Fahrstils (eigener manueller versus fremder Stil) auf das Fahrerleben im hochautomatisierten Fahren untersucht. Zur Berücksichtigung verschiedener Fahrergruppen wurde die gesamte Studie mit 20 jüngeren Fahrern (25 – 45 Jahre) und 20 älteren Fahrern (> 65 Jahre) durchgeführt. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Inhalte beider Experimentalstufen.

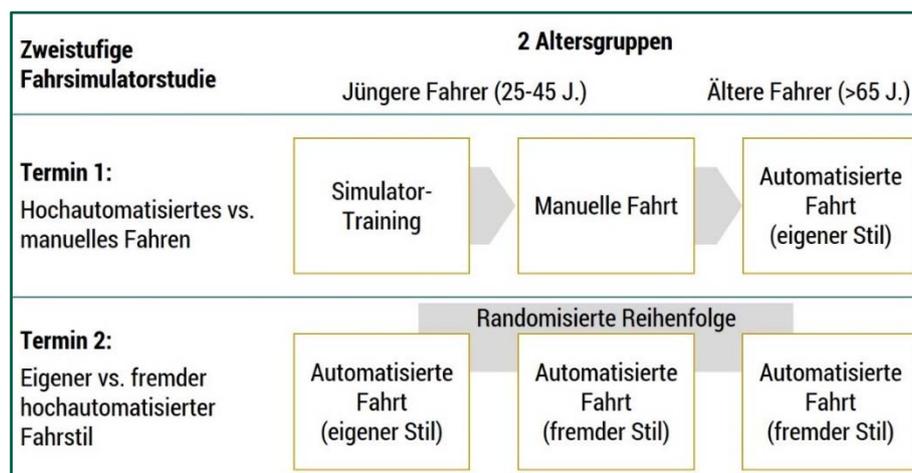


Abbildung 2. Untersuchungsdesign der Fahrsimulatorstudie.

2.1.1 Methodik

Jeder der insgesamt 40 Probanden absolvierte zu Beginn eine Trainingsfahrt zur Gewöhnung an den Fahrsimulator und zur Vermeidung von simulator sickness. Anschließend erlebte jeder, verteilt auf die beiden Termine, fünf Fahrten auf einer simulierten Teststrecke, davon eine manuell und vier hochautomatisiert (siehe Abbildung 2).

Die Teststrecke bestand aus circa 7 km einspuriger Landstraße und 2.5 km zweispuriger Autobahn und beinhaltete 11 aufeinanderfolgende Szenarien, welche mit unterschiedlichen Fahrstilen auf unterschiedliche Art durchfahren werden konnten. Tabelle 2 gibt einen Überblick über diese 11 Szenarien

und die darin notwendigen Fahrmanöver. Aufgabe der Probanden in der manuellen Fahrt war es, den Ausschilderungen nach Chemnitz zu folgen und dabei so natürlich wie möglich zu fahren.

Table 2. Aufbau der Teststrecke in der Fahrsimulatorstudie.

Szenario	Spezifikationen	Relevante Manöver
01. Landstraße, ohne Ereignis	Einspurig	- Spurhaltung
02. Landstraße, beschilderte Kreuzung	Einspurig, Egocar ist vorfahrtsberechtigt, wartender Querverkehr, kein Auto voraus	- Geschwindigkeitsregulation in indifferenter Situation
03. Landstraße, LKW am Straßenrand	Einspurig, kein Überholverbot, LKW halb auf der Spur	- Halber Spurwechsel nach links - Halber Spurwechsel nach rechts
04. Landstraße, Ampelkreuzung	Einspurig, Ampel rot, Querverkehr, Abbieger in die eigene Spur am Ende	- Bremsen bis zum Stillstand - Anfahren
05. Landstraße, Folgefahrt	Einspurig, Auto voraus (an Ampelkreuzung eingebogen), Überholverbot	- Spurhaltung - Abstand halten zum Vordermann
06. Autobahnauffahrt	Auffahrt beginnt gerade aus, dann sehr sanfte Kurve, langer Beschleunigungsstreifen	- Um die Kurve fahren - Spurwechsel nach links - Beschleunigung
07. Autobahn, ohne Ereignis	Zweispurig	- Spurhaltung
08. Autobahn, Spurverengung	Baustelle links, Egocar rechts	- Spurhaltung
09. Autobahn, Spurverengung, Hindernis	Baustelle links, Egocar rechts, sanft bremsendes Auto voraus	- Bremsen hinter fahrendem Fahrzeug (z.B. von 70 auf 30 km/h)
10. Autobahnabfahrt	Relativ langer Verzögerungsstreifen, sehr sanfte Kurve	- Spurwechsel nach rechts - Bremsen - Um die Kurve fahren
11. T-Kreuzung	Stoppschild (Ende der Fahrt)	- Bremsen bis zum Stillstand

Anmerkung: Egocar = das vom Probanden gesteuerte Fahrzeug innerhalb der Fahrsimulation.

Details zu Stichprobenzusammensetzung, technischer Umsetzung und Versuchsablauf können Anhang 4.1 entnommen werden.

Das Fahrerleben wurde multimodal erhoben: Fahrkomfort und Fahrspaß wurden nach jeder Fahrt mit Hilfe des Fragebogens von Engelbrecht (2013) erfasst. Nach jeder hochautomatisierten Fahrt wurden zudem standardisierte Interviews zum Komfortempfinden während der Gesamtfahrt und in einzelnen Szenarien sowie zu den dafür verantwortlichen Fahrparametern und deren Ausprägungen geführt. Neben diesen Bewertungen der Fahrten im Nachhinein wurde mit dem Diskomfort-Handregler eine Methode zur Online-Messung des Fahrkomforts während jeder hochautomatisierten Fahrt implementiert (siehe Abbildung 3). Aufgabe der Probanden war es dabei, den aktuell empfundenen Fahrkomfort zu jedem Zeitpunkt der Fahrt mit Hilfe eines Handreglers zurückzumelden: Je unkomfortabler die Fahrt war, das heißt je mehr Anspannung sie beim Probanden auslöste, desto mehr sollte er den Knopf des Handreglers betätigen. In komfortablen Fahrmomenten musste der Handregler dementsprechend nicht bedient werden. Als Orientierung wurde eine Skala von 0 (komfortabel) bis 100 (unkomfortabel) zu Grunde gelegt, die während der Fahrt auch im Sichtfeld des Fahrers eingeblendet wurde. Die eingegebenen Werte wurden synchronisiert zu den Fahrdaten aufgezeichnet. Weiterführende Informationen zur Erfassung des Fahrerlebens nach und während der Fahrten, insbesondere zur Handregler-Methode, sind in Anhang 4.1 zu finden.



Abbildung 3. Versuchsaufbau der Fahrsimulatorstudie mit Handregler und synchronisierte Visualisierung der Handreglerwerte im aufgezeichneten Video der Fahrsimulation.

Neben dem Fahrerleben wurde auch die Akzeptanz des automatisierten Fahrens mit Hilfe der Van der Laan-Skala (Van der Laan, Heino, & De Waard, 1997) vor der ersten sowie nach jeder hochautomatisierten Fahrt erhoben. Weitere Fragebögen wurden zur Erhebung demografischer Variablen, von Persönlichkeitsfaktoren (Big 5 nach Körner et al., 2008; Kontrollmotivation nach Burger & Cooper, 1979, in der deutschen Version von Braukmann, 1981; Sensation Seeking nach Hoyle, Stephenson, Palmgreen, Lorch, & Donohew, 2002; Ambiguität nach Dahlbert, 1999) und von trust in automation (Jian, Bisantz, & Drury, 2000) eingesetzt.

Die Fahrdaten der manuellen Fahrten wurden mit 60 Hz aufgezeichnet und dienten der Implementierung hochautomatisierten Fahrens im Fahrsimulator. Zur visuellen Unterstützung bei der Interpretation der Fahr- und Handreglerdaten wurden zudem für jede Fahrt synchronisierte Videoaufzeichnungen des Fahrzeuginnenraums, des Probanden und der Fahrumgebung erstellt.

2.1.2 Kernergebnisse

Die Effekte des Fahrmodus und des hochautomatisierten Fahrstils auf das Fahrerleben (Spaß, Komfort, Diskomfort) jüngerer und älterer Fahrer können im Detail Anhang 4.1 entnommen werden. Als ein Kernergebnis konnte gezeigt werden, dass sowohl jüngere als auch ältere Fahrer hochautomatisiertes Fahren als signifikant komfortabler erleben als manuelles Fahren. Für die Beziehung zwischen individuellem manuellem und präferiertem hochautomatisiertem Fahrstil zeigten sich jedoch unterschiedliche Zusammenhänge in den beiden Altersgruppen: Während jüngere Fahrer in Bezug auf alle drei Indikatoren des Fahrerlebens (Spaß und Komfort nach der Fahrt, Diskomfort während der Fahrt) ihren eigenen Fahrstil vor einem anderen bevorzugen, erleben ältere Fahrer hochautomatisiertes Fahren dann als am angenehmsten, wenn sie nicht so gefahren werden, wie sie manuell selbst fahren würden. Stattdessen präferieren ältere Fahrer einen hochautomatisierten Fahrstil, der im Durchschnitt schneller als ihr eigener ist. Solch ein Fahrstil wird von jüngeren Fahrern zumindest unter verschiedenen fremden Fahrstilen ebenfalls besser bewertet als ein langsamerer Fahrstil. Der Vergleich der verschiedenen Fahrstile auf Basis des Geschwindigkeitsprofils ergab sich aus der Auswertung der Interviews, in denen die Probanden Geschwindigkeit, Beschleunigungsstärke und Bremsstärke als die drei Fahrparameter mit der größten Relevanz für ihr persönliches Fahrkomfortempfinden herausarbeiteten. Die Ergebnisse deuten zusammenfassend darauf hin, dass die Mehrheit der Fahrer, unabhängig von ihren individuellen Fahrgewohnheiten, einen ähnlichen Fahrstil im hochautomatisierten Fahren bevorzugt, welcher in den Interviews durchgängig als „zügig, aber nicht ruckelig“ sowie „vorausschauend“ beschrieben wurde.

Diese Zusammenhänge werden auch von den Ergebnissen zur Akzeptanz hochautomatisierten Fahrens abgebildet. Entsprechend einer explorativen Faktorenanalyse, die für die Van der Laan-Skala in dieser Stichprobe nicht die von den Autoren postulierten zwei Faktoren „satisfaction“ und „usefulness“, sondern lediglich einen Faktor identifizieren konnte, wurden dabei alle neun Items der Skala zu einem Mittelwert verrechnet, der als allgemeine Einstellung gegenüber dem System interpretiert wurde. Die Gruppenmittelwerte für jede Fahrmodus- und Fahrstilbedingung sind in Abbildung 4 dargestellt. Die zwei in Experimentalstufe 2 durchgeführten Fahrten auf Basis eines fremden Fahrstils wurden dabei zu einer Bedingung zusammengefasst.

Wie in Abbildung 4 (links) ersichtlich, steigt die Akzeptanz des hochautomatisierten Fahrens in beiden Altersgruppen nach der ersten Erfahrung mit dieser Technologie im Rahmen der Fahrsimulatorstudie signifikant an ($F(1, 38) = 21.261, p < .001, \eta_p^2 = .359$). Diese Einstellungsveränderung steht in einem signifikanten, positiven Zusammenhang mit dem erlebten Fahrkomfort ($r = .513, p < .001$) und Fahrspaß ($r = .283, p = .011$) in dieser Fahrt. Auch der Einfluss des hochautomatisierten Fahrstils auf die Akzeptanz folgt derselben Interaktion zwischen Fahrstil und Altersgruppe ($F(1, 35) = .189, p = .038, \eta_p^2 = .117$) wie die Daten zum Fahrerleben: Während jüngere Fahrer die höchste Akzeptanz nach Fahrten basierend auf ihrem eigenen Fahrstil zeigen, ist die Akzeptanz unter älteren Fahrern nach Fahrten auf Basis eines anderen als ihres eigenen Fahrstils am höchsten (Abbildung 4, rechts). Auch hier steht die Einstellung gegenüber dem System in einem signifikanten Zusammenhang zum Fahrerleben. So ist die Akzeptanz des hochautomatisierten Fahrens umso höher, je mehr Komfort ($r = .577, p < .001$) und Spaß ($r = .410, p < .001$) dabei empfunden wurde. Diese Daten belegen die Bedeutsamkeit des Fahrerlebens während des

hochautomatisierten Fahrens für die Akzeptanz dieser Technologie und damit die zu erwartende Nutzungsbereitschaft potentieller zukünftiger Nutzer.

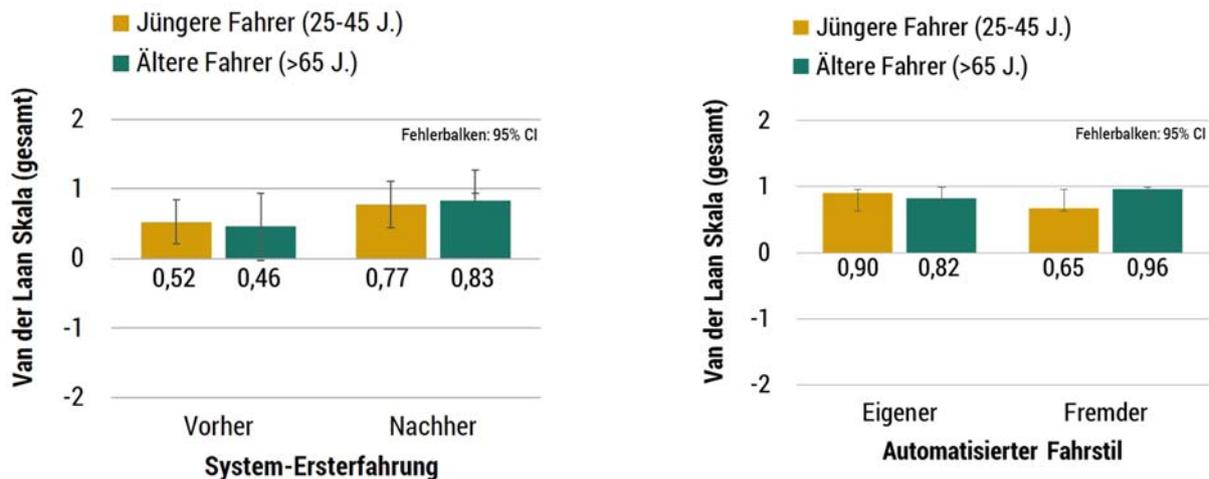


Abbildung 4. Einfluss der System-Ersterfahrung im Fahrsimulator (links) und des hochautomatisierten Fahrstils (rechts) auf die Akzeptanz des hochautomatisierten Fahrens.

Die während der Fahrt aufgezeichneten Handreglerwerte zeigen zusätzlich, dass der Fahrkomfort im hochautomatisierten Fahren nicht ausschließlich vom implementierten Fahrstil abhängt, sondern auch von situativen Faktoren sowie dem Vertrauen des Nutzers in die Leistungsfähigkeit der Automatisierung beeinflusst wird. Dies wird bei der Betrachtung des Verlaufs des Diskomforterlebens über die gesamte Strecke deutlich (siehe Abbildung 5).

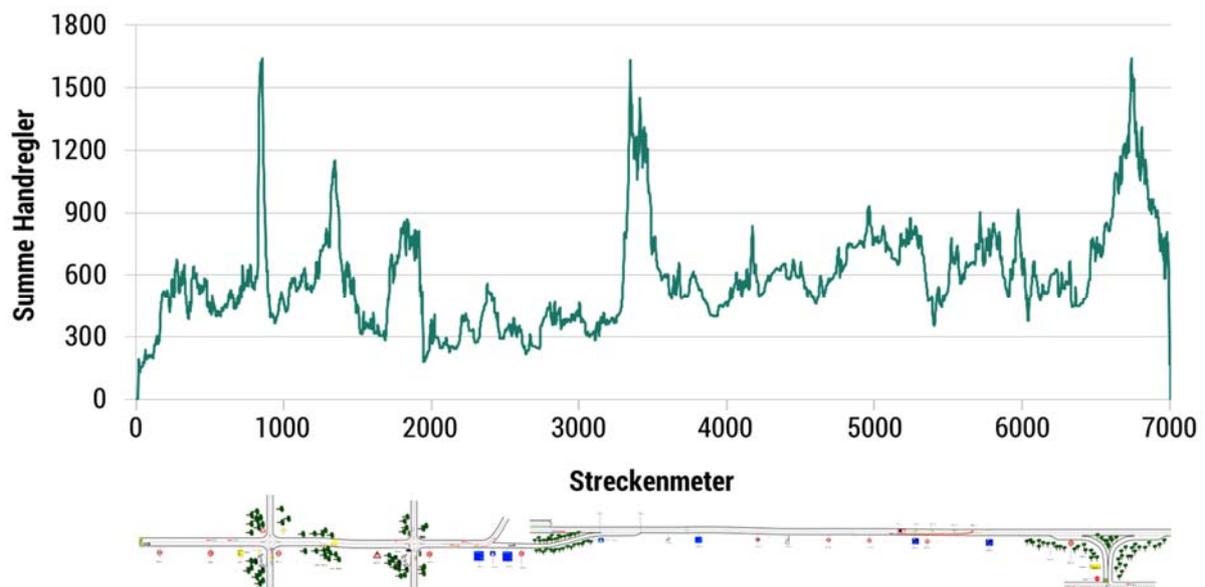


Abbildung 5. Aufsummierte Handreglerwerte über alle Probanden und Fahrten hinweg im Streckenverlauf.

Anmerkung: Höhere Handreglerwerte indizieren höheren Diskomfort während der Fahrt.

So ergibt sich über alle Probanden und hochautomatisierte Fahrten des Versuches hinweg ein deutliches Muster, welches die Identifikation komfortabler und unkomfortabler Fahrsituationen ermöglicht. Als besonders unkomfortable Situationen (d.h. die Situationen mit sehr hohen Handregler-Ausschlägen) erweisen sich dabei:

- Szenario 2 (Landstraße, beschilderte Kreuzung, Proband hat Vorfahrt, wartender Querverkehr),
- Szenario 4 (Landstraße, rote Ampel)
- Szenario 6 (Autobahnauffahrt mit fließendem Verkehr auf der Autobahn) und
- Szenario 10 (Autobahnabfahrt ohne andere Verkehrsteilnehmer) mit Übergang in Szenario 11 (T-Kreuzung mit Stoppschild am Ende der Autobahnabfahrt)

Auf Basis der Interviewdaten lassen sich für diese Fahrsituationen jedoch unterschiedliche Gründe für das Diskomforterleben der Probanden identifizieren: Während der Diskomfort in den Szenario 4 und 10 fast ausschließlich auf die Unzufriedenheit mit der Bewältigung dieser Situation im Rahmen des präsentierten Fahrstils zurückzuführen ist, entsteht er in den Szenarien 2 und 6 zusätzlich aus dem mangelnden Vertrauen heraus, dass die Automatisierung die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern bewältigen kann. Dabei bemängelten die Probanden hauptsächlich, nicht zu wissen, ob das eigene Fahrzeug die anderen Verkehrsteilnehmer rechtzeitig detektieren und im Notfall entsprechend reagieren könnte. Dieser Unterschied zwischen den Szenarien wird auch deutlich, wenn man die Handreglerwerte über den Fahrtverlauf für die einzelnen Altersgruppen und Fahrstilbedingungen getrennt betrachtet (siehe Abbildung 6). Besonders deutlich wird dies für die jüngeren Fahrer, welche insgesamt mehr Diskomfort beim Erleben eines fremden als ihres eigenen Fahrstils empfanden: Während in den Fahrten basierend auf einem fremden Fahrstil in allen genannten Szenarien deutliche Ausschläge des Handreglers, also deutliche Momente des Diskomforts, zu erkennen sind, ist dieser Ausschlag bei der Fahrt basierend auf dem eigenen Fahrstil für die Szenarien 4 und 10 kaum noch zu beobachten, während die Szenarien 2 und 6 auch hier im Vergleich zum restlichen Streckenverlauf als deutlich unkomfortabler erlebt werden. In diesen beiden Szenarien kann das Komforterleben also nicht vollständig über den hochautomatisierten Fahrstil moduliert werden.

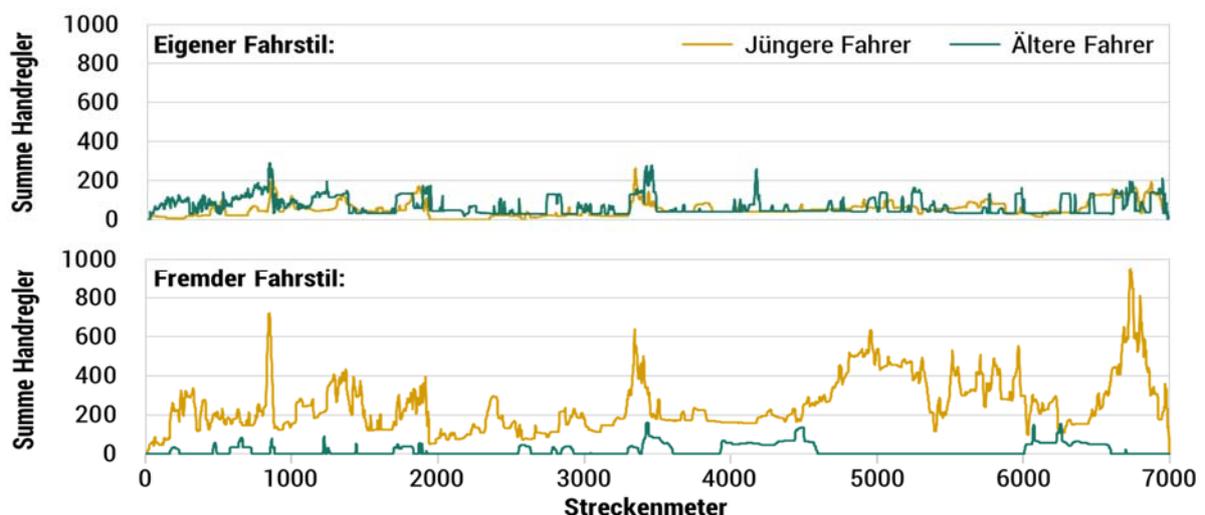


Abbildung 6. Aufsummierte Handreglerwerte im Streckenverlauf, getrennt nach Altersgruppe und Fahrstil.

Anmerkung: Höhere Handreglerwerte indizieren höheren Diskomfort während der Fahrt.

Damit liefert der Handregler wichtige Hinweise auf Fahrsituationen, in denen eine Intervention erfolgen muss, um ein positives Fahrerleben sicher zu stellen. Dies kann in einigen Situationen (wie die Szenarien 4 und 10) über eine adäquate Gestaltung des Fahrstils erfolgen. Für anderen Situationen (wie die Szenarien 2 und 6) implizieren die assoziierten Interviewdaten jedoch eine situationspezifische Informationsgestaltung im Fahrzeug (z.B. mit Informationen über aktuelle und folgende Fahrmanöver sowie über erkannte Verkehrsteilnehmer im Fahrzeugumfeld) als geeignetere Methode zur Vermeidung von Diskomfort. Die Grundlage für die situationspezifische Auswahl der jeweils adäquaten Intervention könnte eine integrierte Detektion des Fahrzeugzustandes, des Fahrzeugumfeldes und des Fahrerzustandes bilden.

2.2 Arbeitspaket 2: Modellierung

Im Arbeitspaket 2 wurde auf Basis der in AP 1 gewonnenen Ergebnisse eine Methodik entwickelt, mit der individuell automatisierte Fahrstile modelliert und später in der Realfahrtstudie im Versuchsträger (BMW i3) umgesetzt werden konnten. Hierzu wurden die von den Probanden der Fahrsimulatorstudie (AP 1) bevorzugten Ausprägungen der verschiedenen Fahrparameter detailliert analysiert. Aufgrund der Anzahl und Komplexität der in der Fahrsimulatorstudie abgebildeten Szenarien erfolgte für die Übertragung auf die Realfahrtstudie (AP 3) eine Auswahl auf spezifische Streckenabschnitte und Fahrscenarien. Ausgangspunkt hierfür bildet der Aspekt der Interviewauswertung (AP 1), dass sich die Längsführung als besonders relevant für das Komfortempfinden beim hochautomatisierten Fahren erwiesen hatte, sowie das in AP 1 eingesetzte Verfahren zur Identifikation unkomfortabler Streckenabschnitte. Für die Messdatenanalyse und Modellierung in AP 2 lagen daher insbesondere Szenario 4 und 11 (siehe Tabelle 2) im Fokus. Abbildung 7 zeigt die Arbeitsschritte des AP 2, welche nachfolgend ausführlich erläutert werden.

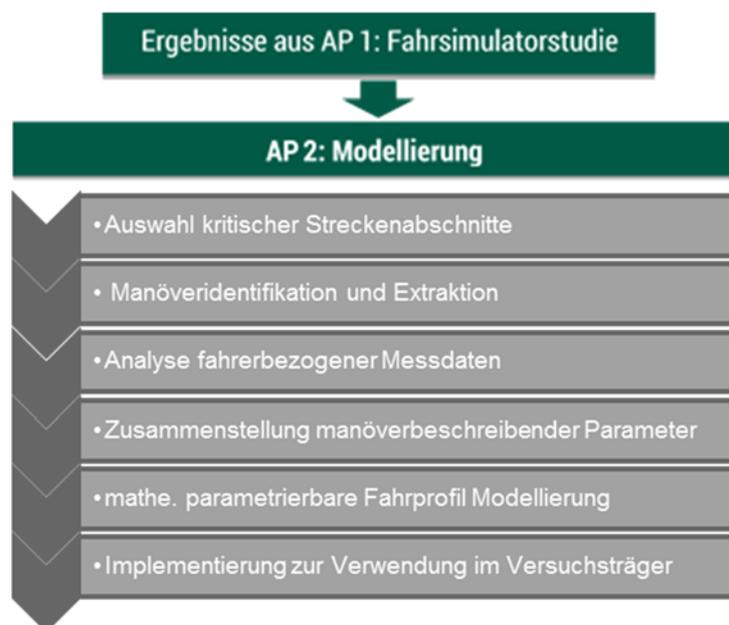


Abbildung 7. Vorgehen zur Modellentwicklung in AP 2.

2.2.1 Methodik

Zunächst wurden die gesamten fahrzeug- und streckenbezogenen Messdaten der Fahrsimulatorstudie in Kombination der Diskomfortbewertung des Fahrers (Handreglersignal) über den gesamten Streckenverlauf dargestellt (siehe Abbildung 5) und ausgewertet. Dabei konnten in Bezug auf die vorher getroffene Auswahl der Aspekte der Längsführung spezifische Fahrsituationen mit besonders hoher Amplitude des kumulierten Handreglersignals identifiziert werden.

Die Fahrsituationen wurden anschließend in die für sie charakterisierenden Fahrmanöver unterteilt, da die Fahrzeugführung als eine Kette von Fahrmanövern zur Bewältigung der Fahraufgabe verstanden werden kann. Diese elementaren Manöver (nach Nagel, 1994) wurden individuell vom Fahrer ausgeführt und sind somit vom subjektiven Fahrstil des Fahrers geprägt. Abbildung 8 zeigt die unterschiedlichen Ausprägungen der Geschwindigkeitsverläufe im Übergang von Szenario 10 (Autobahnabfahrt) in Szenario 11 (Stoppschild). Hierbei sind für die longitudinale Fahrzeugführung die Manöver Verzögern und Stoppen nötig. Durch die Verläufe der Messdaten lassen sich manöverbeschreibende Parameter, wie Manöverstart- bzw. -ende, die Amplitude zu diesen Zeitpunkten und Gradientenverläufe und deren Variation über die Probanden erkennen.

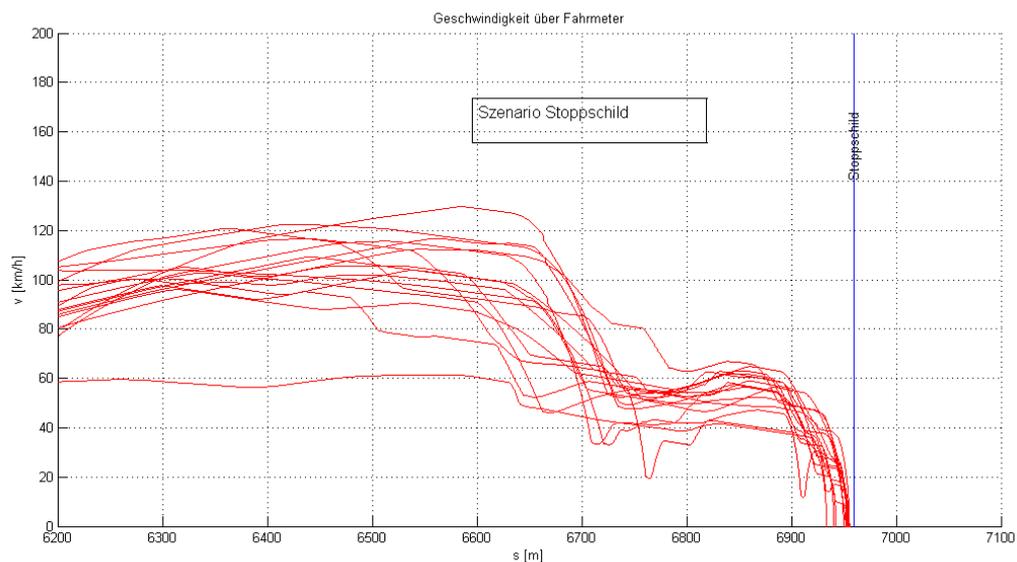


Abbildung 8. Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe verschiedener Fahrer beim Übergang von Szenario 10 (Autobahnabfahrt) zu 11 (Anhalten an Stoppschild).

Die ausgewählten Fahrmanöver wurden anschließend detailliert untersucht, um kinematische Messgrößen sowie mit Hinweisen aus den Interviews den Grund für die Diskomfortbewertung zu extrahieren. Durch die Erkenntnisse aus der Analyse der Messdaten konnte eine Anforderungsbeschreibung für die Transferfunktion vorgenommen werden, um die subjektiv komfortablen Fahrprofile abbilden zu können. Diese sollte in erster Linie über alle möglichen Manöver generisch sein, individuelle Fahrprofile abbilden können, mögliche Variationen der manöverbeschreibenden Parameter zulassen und letztendlich in einem realen Versuchsträger anwendbar sein. Auf Basis der Anforderungsbeschreibung konnten geeignete Methoden zur Umsetzung individueller Fahrprofile evaluiert, adaptiert und in Software implementiert

werden. Schließlich wurde das System unter Berücksichtigung von AP 3 in den teilautomatisierten Versuchsträger integriert.

2.2.2 Kernergebnisse

Die gemeinsam aufgetragenen Messdaten der Fahrsimulatorstudie mit den Diskomfortbewertungen des Fahrers gaben Antworten auf die Frage, welche Situationen aufgrund der kinematischen Fahrstilparameter als besonders unangenehm empfunden werden. Es handelt sich hierbei unter anderem um die Szenarien 4 (Verzögern und Stoppen an Ampel) sowie Szenario 11 (Stoppen an Stoppschild). Diese Szenarien basieren auf Parametern der Längskinematik, wie Geschwindigkeit, Beschleunigung, Ruck und Haltepunkten. Da im Geschwindigkeitsverlauf über Fahrtstrecke alle genannten Parameter enthalten sind, wurde diese Darstellung als eine geeignete ausgewählt und für die genannten Szenarien und Probanden erstellt und mit den Diskomfortbewertungen hinterlegt. Abbildung 9 zeigt hierzu exemplarisch die Bewertung eines Fahrers von drei unterschiedlichen Fahrprofilen.

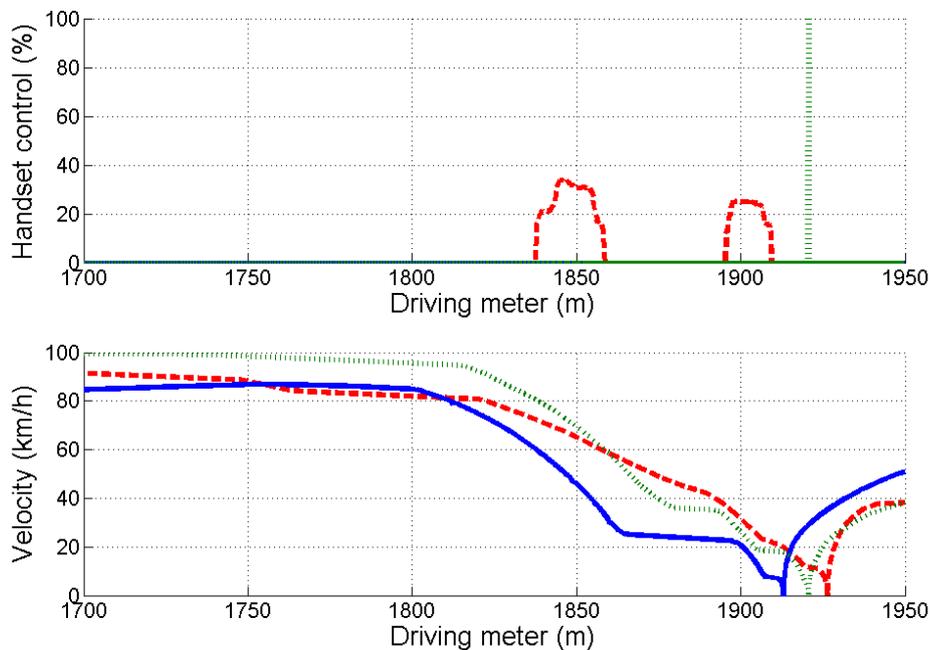


Abbildung 9. Handreglersignale eines Fahrers (oben) in Bezug auf drei unterschiedliche automatisierte Anhaltemanöver (unten). Hierbei wurde das blaue Fahrprofil als komfortabel bewertet.

Da der Geschwindigkeitsverlauf über die Wegstrecke alle Parameter der longitudinalen Fahrzeugkinematik enthält, wurde dieser als Basis der Fahrprofilmodellierung gewählt. Methoden zur Modellierung müssen neben oben genannten Anforderungen bezüglich Generalisierbarkeit, Parametrierung und Variabilität auch speziellen Forderungen bezüglich der Realisierung im automatisierten Fahrzeug genügen. Hinsichtlich dieser besonderen Einschränkungen wurde nach geeigneten mathematischen Modellierungen gesucht. Eine Möglichkeit ist hier die Nutzung abschnittsweise definierter Polynome fünften Grades (Splines). Sie können so modelliert werden, dass Ihre Übergangsstellen bis in die zweite Ableitung stetig sind, was eine wichtige

Voraussetzung für die Fahrbarkeit des beschriebenen Fahrprofils darstellt. Es lassen sich dadurch auch einzelne modellierte Fahrmanöver zur Ausführung der Fahraufgabe auf einer ausreichend bekannten Route zusammensetzen. Es erwies sich hierbei als hilfreich, den physischen Pfad der Fahrtroute (Geo-Spline) und das geplante Geschwindigkeitsprofil auf diesem Pfad (Geschwindigkeits-Spline) separat zu modellieren. So können verschiedene Profile auf ein und derselben Strecke modelliert und abgefahren werden.

Im abschließenden Teil wurden Softwaremodule entwickelt, welche die angestrebte mathematische Modellierung abbilden. Dabei entstand ein Tool zur Manipulation und Digitalisierung von manuell eingefahrenen Fahrprofilen. Dazu werden Messdaten, insbesondere GPS und die Fahrzeuggeschwindigkeiten, direkt vom Messsystem des Versuchsträgers aufgezeichnet und in das Softwaremodul zur Digitalisierung eingespeist. Der daraus entstehende Geschwindigkeits-Spline kann dann von einem weiteren Softwaremodul vom Versuchsträger zur Umsetzung einer longitudinalen automatisierten Fahrfunktion eingelesen und verarbeitet werden.

In Hinblick auf AP 3 wurden mehrere als komfortable bewertete Fahrprofile für Anfahrt- und Abbremsmanöver in Haltszenarien ausgewählt und für den Einsatz im Realfahrzeug vorbereitet (siehe Abbildung 10 und Abbildung 11). Es handelt sich um ein „schnelleres“ Geschwindigkeitsprofil, das von Probanden in der Fahrsimulatorstudie als zügig aber sicher wahrgenommen wurde. Zum anderen ein „langsamerer“ Geschwindigkeitsprofil, welche zusätzlich beim Abbremsen eine Stufenform beinhaltet. Diese Form des Verzögerns bis zum Stillstand kam in den Messdaten der Fahrsimulatorstudie besonders häufig vor und soll daher in der Realfahrtstudie verifiziert werden. Der Fahrverlauf ist weniger zügig und durch früheres Verzögern gekennzeichnet.

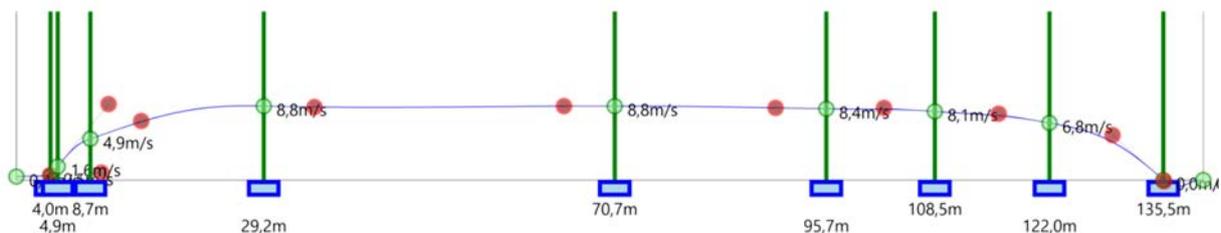


Abbildung 10. Geschwindigkeitsprofil der „schnelleren Fahrt“.

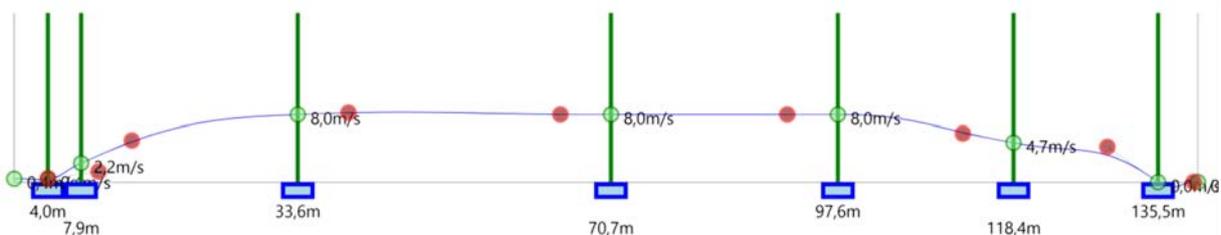


Abbildung 11. Geschwindigkeitsprofil der „langsameren“ Fahrt.

2.3 Arbeitspaket 3: Realfahrstudie

Zur Prüfung der Übertragbarkeit ausgewählter Ergebnisse aus der Fahrsimulatorstudie auf reale Bedingungen wurde anschließend eine Realfahrstudie auf einer Teststrecke durchgeführt. Da sich in den Interviews im Rahmen der Fahrsimulatorstudie Aspekte der Längsführung als besonders relevant für das Komfortempfinden beim hochautomatisierten Fahren erwiesen hatten, stand hierbei die Ermittlung eines komfortablen Beschleunigungs- und Verzögerungsverhaltens im Fokus. Dazu absolvierten 20 Fahrer (25 – 45 Jahre) eine manuelle Fahrt und drei unterschiedlich parametrisierte Fahrten mit hochautomatisierter Längsführung.

2.3.1 Methodik

Stichprobe

Von den 20 Probanden der Realfahrstudie entstammten 18 aus der jüngeren Fahrergruppe der Fahrsimulatorstudie, um studienübergreifende Vergleiche der Ergebnisse zu gewährleisten. Die übrigen zwei Personen wurden zum Erzielen der intendierten Stichprobengröße nachakquiriert. Die so entstandene Stichprobe war im Mittel 28.2 Jahre alt ($SD = 2.2$). Die Probanden waren seit durchschnittlich 9.7 Jahren ($SD = 2.3$) im Besitz eines gültigen Führerscheins und wiesen eine mittlere Fahrleistung von 13950 km im letzten Jahr ($SD = 14424.9$) auf. Das Geschlechterverhältnis war mit 10 Frauen und 10 Männern ausgeglichen.

Teststrecke und Versuchsfahrzeug

Die Realfahrstudie fand auf einer abgesperrten Teststrecke auf dem Gelände des „Sachsenrings“ statt (siehe Abbildung 12).



Abbildung 12. Teststrecke der Realfahrstudie auf dem Sachsenring.

Auf diesem Gelände wurde ein Rundparcours mit einer Gesamtlänge von 278 m aufgebaut. Dieser bestand aus zwei Geradenabschnitten (134 m und 144 m lang) mit je einem definierten Startpunkt und einem durch Stoppschild und Haltelinie markierten Endpunkt sowie zwei Wendekurven (siehe Abbildung 13). Auf den Geradenabschnitten wurden die jeweiligen Geschwindigkeitsprofile der verschiedenen parametrisierten hochautomatisierten Fahrten, bestehend aus einem Beschleunigungsvorgang von 0 km/h auf 30 km/h vom

Startpunkt aus, Halten dieser Zielgeschwindigkeit und einem Bremsvorgang von 30 km/h auf 0 km/h am Endpunkt, umgesetzt. Die Wendekurven dienten lediglich der Positionierung des Fahrzeugs an den Startpunkt der jeweils nächsten Gerade und wurden von den Probanden manuell befahren. Jede Fahrt bestand aus 2 Runden auf diesem Parcours und damit aus 4 Geradenabschnitten (Beschleunigen, Fahren mit 30 km/h, Bremsen) mit demselben Geschwindigkeitsprofil.

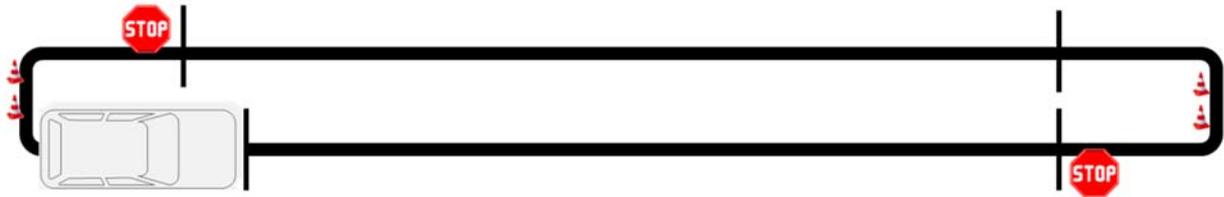


Abbildung 13. Testparcours der Realfahrstudie.

Als Versuchsträger diente das instrumentierte Versuchsfahrzeug des I-FAS (siehe Abbildung 14). Details zur sensortechnischen Ausrüstung des Fahrzeuges sowie zur Umsetzung der hochautomatisierten Längsführung sind in Anhang 4.2 beschrieben.



Abbildung 14. Testfahrzeug der Fahrstudie in der Außen- (links) und Innen- (rechts) Ansicht.

Geschwindigkeitsprofile

In der Realfahrstudie wurden drei verschiedene hochautomatisierte Geschwindigkeitsprofile in einem within-subject-Design miteinander verglichen (siehe Abbildung 15).

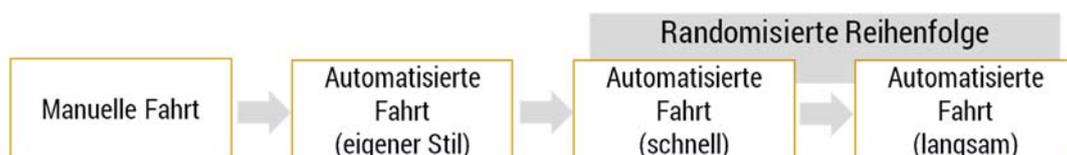


Abbildung 15. Sequenz der absolvierten Fahrten in der Realfahrstudie.

Nachdem die Probanden den Parcours selbst manuell durchfahren hatten, erlebten sie zunächst eine hochautomatisierte Fahrt auf Basis ihres eigenen Fahrstils. Anschließend wurden in randomisierter

Reihenfolge zwei weitere Fahrten auf Basis zweier Geschwindigkeitsprofile dargeboten, die für jeden Probanden identisch waren. Die Auswahl der Geschwindigkeitsprofile orientierte sich an den Ergebnissen der Simulatorstudie (siehe Kapitel 2.2.2). Demnach wurden für die Studie eine „schnelle Fahrt“ und eine „langsame Fahrt“ gewählt.

Abhängige Variablen

Jede der drei hochautomatisierten Fahrten wurde im Anschluss von den Probanden in einem Fragebogen bewertet. Dieser enthielt single items (siehe Abbildung 16) zur Einschätzung folgender Parameter:

- Fahrkomfort der Gesamtfahrt: 0 (angenehm) bis 100 (unangenehm)
- Stärke der Beschleunigung: - 50 (zu schwach) bis +50 (zu stark)
- Zeitpunkt des Beschleunigungsbeginns: - 50 (zu früh) bis +50 (zu spät)
- Verlauf der Beschleunigung: 0 (angenehm) bis 100 (unangenehm)
- Stärke der Verzögerung: - 50 (zu schwach) bis +50 (zu stark)
- Zeitpunkt des Verzögerungsbeginns: - 50 (zu früh) bis +50 (zu spät)
- Verlauf der Verzögerung: 0 (angenehm) bis 100 (unangenehm)
- Fahrkomfort: 0 (sehr gering) bis 100 (sehr hoch)
- Fahrspaß: 0 (sehr gering) bis 100 (sehr hoch)

Den Zeitpunkt der Beschleunigung des Fahrzeugs empfinde ich als...

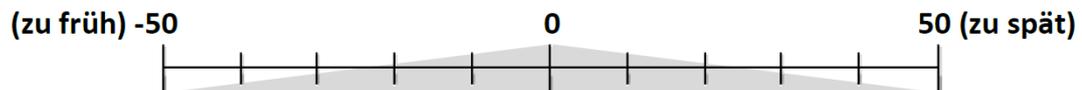


Abbildung 16. Beispielhafte Darstellung eines Items zur Einschätzung des Zeitpunktes der Beschleunigung.

Um die Effekte dieser ersten Fahrerfahrungen mit dem System in einem realen Fahrzeug auf die Akzeptanz der Technologie zu erfassen, wurde zudem zu Beginn sowie am Ende des Versuchs die Einstellung zum System mit der Van der Laan-Skala erhoben.

Analog zur Fahrsimulatorstudie (AP 1) wurde auch in der Realfahrstudie die Gesamtbewertung des Fahrkomforts am Ende jeder Fahrt durch dessen Onlineerfassung mit Hilfe des Handreglers während jeder hochautomatisierten Fahrt ergänzt.

Für die beiden nachakquirierten Probanden wurden zudem in einem zusätzlichen Fragebogen die Personenvariablen nacherhoben, die für die restliche Stichprobe bereits aus der Fahrsimulatorstudie vorlagen.

2.3.2 Kernergebnisse

Die Effekte des hochautomatisierten Fahrstils auf die Fahrerbewertung in den erfassten Dimensionen wurden über Varianzanalysen mit Messwiederholung auf statistische Signifikanz geprüft.

Die Analyse der Fahrereinschätzungen der Beschleunigungsvorgänge innerhalb der verschiedenen Fahrstile erbrachte einen signifikanten Fahrstileffekt auf die Bewertung des Zeitpunktes der Beschleunigung ($F(2, 38) = 4.803$, $p = .014$, $\eta_p^2 = .202$). Wie in Abbildung 17 deutlich wird, wurde der Beschleunigungszeitpunkt der schnellen Fahrt als optimal bewertet. Die Beschleunigung in den Fahrten basierend auf dem eigenen Fahrstil der Probanden wurde im Mittel als tendenziell zu spät, in der langsamen Fahrt ebenfalls als zu spät bewertet. In den Posttests erwies sich die negativere Bewertung der langsamen im Vergleich zur schnellen Fahrt als signifikant ($t(19) = -3.218$, $p = .005$).

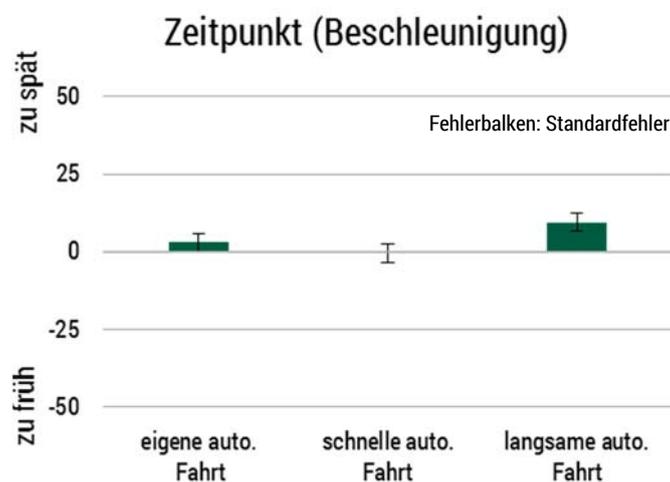


Abbildung 17. Fahrerbewertung des Beschleunigungszeitpunktes der drei hochautomatisierten Fahrstile.

Für den Verlauf sowie die Stärke der Beschleunigung konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei dargebotenen Fahrstilen gefunden werden. In der Tendenz wurde in Bezug auf beide Dimensionen jedoch ebenfalls die langsame Fahrt am unangenehmsten bewertet, während die schnelle und die eigene Fahrt einander sehr ähnliche Bewertungen erhielten (siehe Abbildung 18).

In Bezug auf die Verzögerungsvorgänge ergaben die Analysen ebenfalls einen signifikanten Fahrstileffekt auf den Verzögerungszeitpunkt ($F(2, 38) = 12.734$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .401$), zusätzlich aber auch auf den Verlauf der Verzögerung ($F(2, 38) = 20.406$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .518$) (beide dargestellt in Abbildung 19).

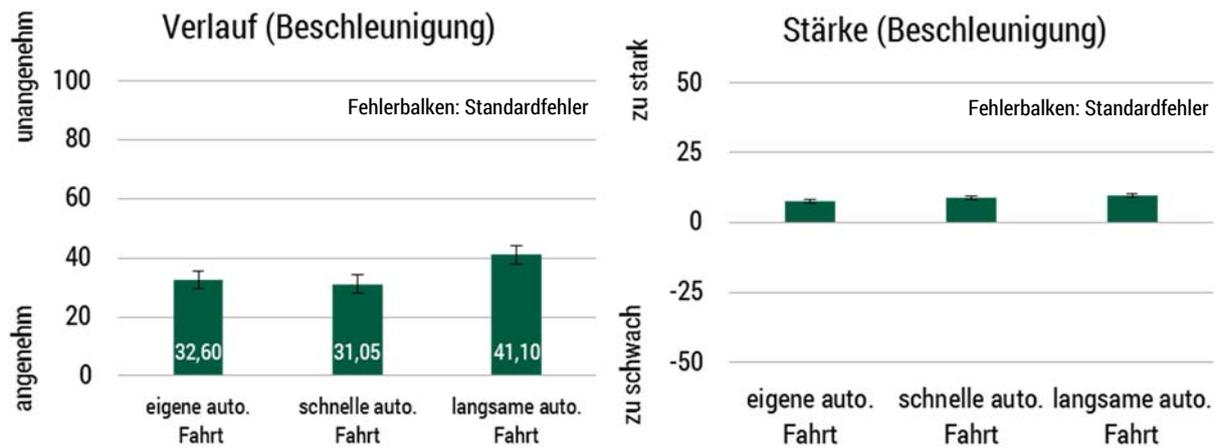


Abbildung 18. Fahrerbewertung des Beschleunigungsverlaufes (links) und der Beschleunigungsstärke (rechts) der drei hochautomatisierten Fahrstile.

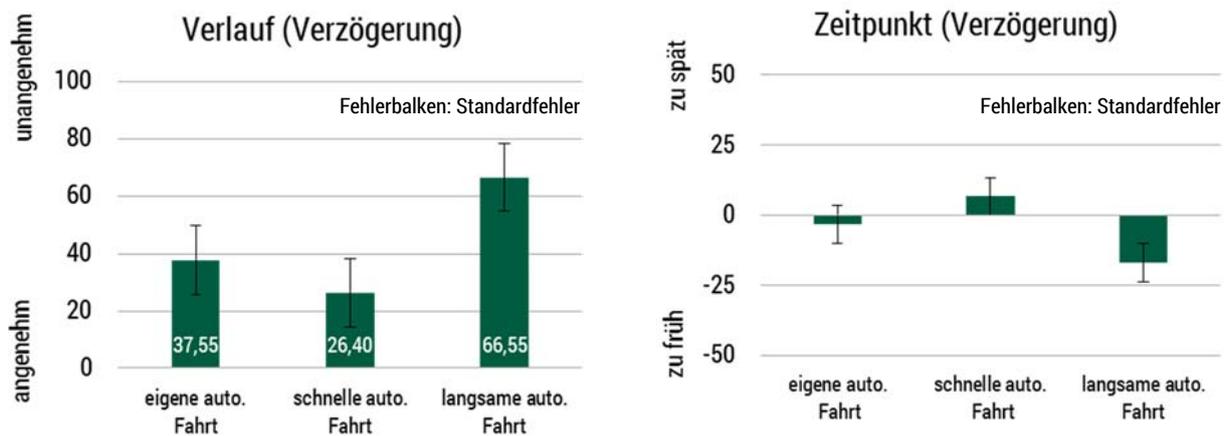


Abbildung 19. Fahrerbewertung des Verzögerungsverlaufes (links) und -zeitpunktes (rechts) der drei hochautomatisierten Fahrstile.

So begannen die Verzögerungsvorgänge in der langsamen Fahrt für die Probanden signifikant zu früh im Vergleich zur schnellen ($t(19) = 4.638, p < .001$) sowie zur eigenen Fahrt ($t(19) = -2.768, p = .012$). Die Verzögerung in der eigenen Fahrt selbst wurde als minimal zu früh eingestuft, zeigte unter den drei Fahrstilen aber die geringste Abweichung vom Optimalwert und erwies sich damit als die angenehmste Variante. Die Verzögerung innerhalb des schnellen Fahrstils erfolgte für die Probanden hingegen zu spät, allerdings ebenfalls mit einer geringen Abweichung vom Optimalwert.

Auch der Verzögerungsverlauf wurde in der langsamen Fahrt als signifikant unangenehmer eingestuft als in der schnellen ($t(19) = -5.514, p < .001$) und der eigenen ($t(19) = 4.233, p < .001$) Fahrt. In diesen beiden Fahrten wurde der Verlauf als eher angenehm empfunden, wobei die schnellere Fahrt dabei noch signifikant angenehmer erlebt wurde als die eigene Fahrt ($t(19) = 2.172, p = .043$).

Obwohl die Bewertung der Verzögerungsstärke keine signifikanten Effekte erbrachte, zeigen die Ergebnisse die gleichen Tendenzen wie die bisher berichteten Werte: eine sehr ähnliche Bewertung des eigenen und des schnellen Fahrstils nahe des Optimalbereiches sowie eine schlechtere Bewertung des langsamen Fahrstils, bei dem die Verzögerung als zu stark wahrgenommen wurde (siehe Abbildung 20).

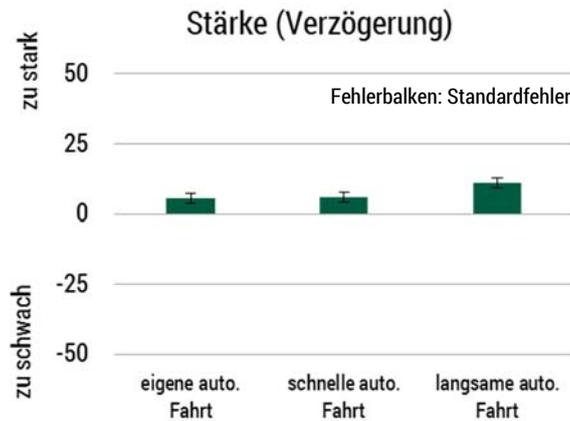


Abbildung 20. Fahrerbewertung der Verzögerungsstärke der drei hochautomatisierten Fahrstile.

Die globale Bewertung des Fahrerlebens nach jeder der drei hochautomatisierten Fahrten, dargestellt in Abbildung 21, unterschied sich nicht signifikant für den Fahrkomfort, jedoch für den Fahrspaß ($F(2, 38) = 7.566, p < .01, \eta_p^2 = .285$). So erlebten die Probanden signifikant weniger Spaß während der langsamen als während der schnellen Fahrt ($t(19) = 3.820, p = .001$). Der eigene Fahrstil wurde im Mittel zwischen diesen beiden Fahrten eingeordnet und eher positiv bewertet. Obwohl sich in Bezug auf den Fahrkomfort nur Tendenzen zeigten, wurde auch hier die langsamste Fahrt als am unangenehmsten, die schnellste Fahrt als am angenehmsten eingestuft.

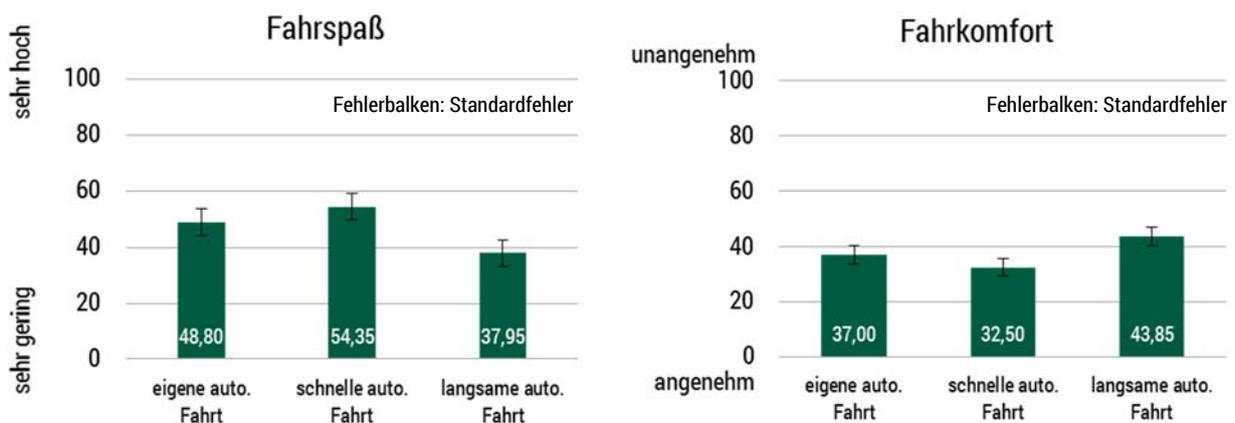


Abbildung 21. Fahrspaß (links) und Fahrkomfort (rechts) während der drei hochautomatisierten Fahrstile.

Parallel zu dieser Fragebogen-Bewertung des Fahrkomforts wurde die langsame Fahrt auch während der Fahrt mit Hilfe des Diskomfort-Handreglers als am unangenehmsten bewertet. Der eigene Fahrstil war nur geringfügig angenehmer. Der geringste Diskomfort wurde von den Probanden während der schnellen Fahrt empfunden. Damit wurde der dort implementierte Fahrstil von den Probanden generell als der komfortabelste eingestuft. Die aufsummierten Handreglerwerte über jede der drei Fahrten hinweg sind in Abbildung 22 dargestellt.

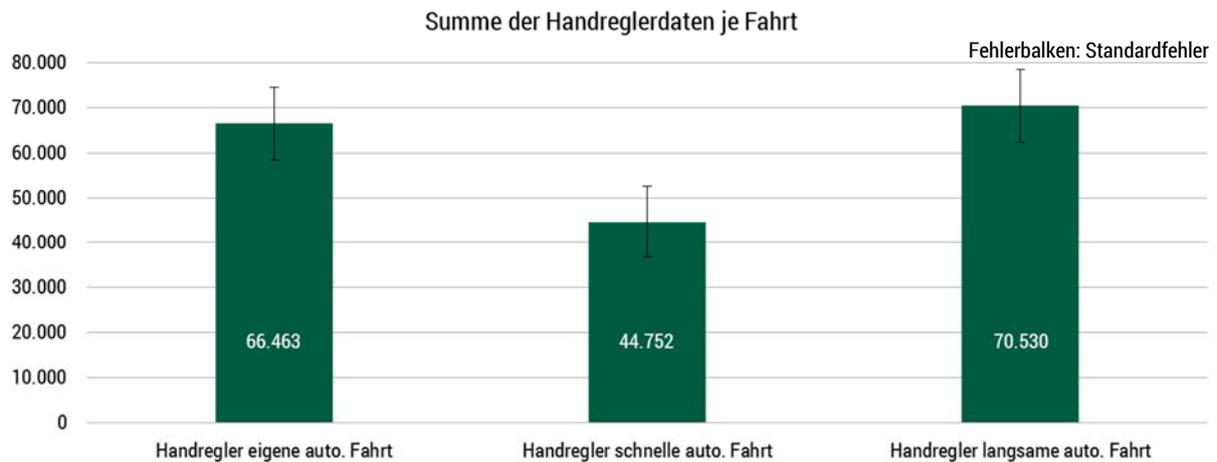


Abbildung 22. Aufsummierte Handreglerwerte für jede der drei hochautomatisierten Fahrten.

Anmerkung: Höhere Handreglerwerte indizieren höheren Diskomfort während der Fahrt.

Nachdem die erste Erfahrung der Probanden mit dem hochautomatisierten Fahren im Fahrsimulator zu einem signifikanten Anstieg der Akzeptanz dieser Technologie geführt hatte, konnten in der Realfahrstudie die Stabilität dieses Effektes sowie der Einfluss des ersten Systemerlebens in einem realen Fahrzeug für die Gruppe der jüngeren Fahrer überprüft werden. Dazu wurden die Ergebnisse der Van der Laan-Skala, welche zu Beginn und am Ende des Realfahrversuches erhoben wurde, mit den Werten aus dem Fahrsimulator verglichen. Wie in Abbildung 23 ersichtlich, blieb die im Fahrsimulator erzeugte positive Einstellung der Probanden gegenüber dem hochautomatisierten Fahren auch über das circa viermonatige Zeitintervall zwischen den beiden Studien stabil erhalten und zeigte sogar eine Tendenz zur weiteren Verbesserung. Obwohl die darauf folgenden ersten Systemerfahrungen im realen Fahrzeug im Gegensatz zum Fahrsimulator durch spürbare physikalische Kräfte und die fehlende Sicherheit, in der simulierten Fahrumgebung keine realen kritischen Situationen erleben zu können, geprägt waren, erlebte diese positive Einstellung auch nach dem Realfahrversuch keinen Einbruch, sondern blieb weiterhin stabil erhalten.

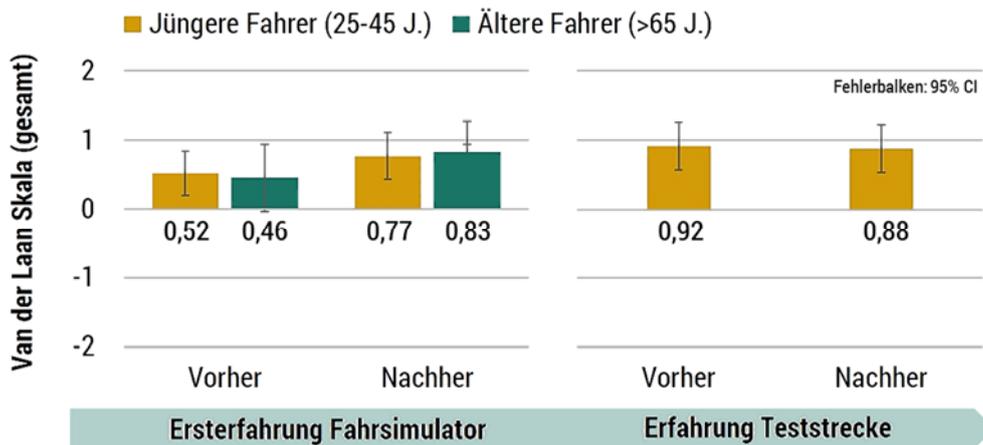


Abbildung 23. Entwicklung der Systemakzeptanz über die Fahrsimulatorstudie und Realfahrstudie hinweg.
Anmerkung: Höhere Werte auf der Van der Laan-Skala indizieren eine höhere Akzeptanz.

2.4 Zusammenschau der Ergebnisse aus Fahrsimulator- und Realstudie

Zusammenfassend konnten ausgewählte Ergebnisse der Fahrsimulatorstudie damit auch im Feld unter realen physikalischen Bedingungen repliziert werden. Hochautomatisiertes Fahren wird im Mittel grundsätzlich als komfortabel erlebt, was sich auch in einer positiven Einstellung gegenüber der Technologie widerspiegelt. Sowohl das Fahrerleben während des hochautomatisierten Fahrens als auch die damit verbundene Systemakzeptanz der Technologie sind dabei über den automatisierten Fahrstil modulierbar.

Eine Orientierung des hochautomatisierten Fahrstils am individuellen Fahrverhalten jedes Fahrers erwies sich nicht für jede Fahrergruppe als geeignet zur Verbesserung des Fahrerlebens. So konnte für ältere Fahrer gezeigt werden, dass der eigene Fahrstil und das darin enthaltene Kompensationsverhalten (z.B. langsamer fahren, früher bremsen) im Kontext des hochautomatisierten Fahrens nicht zum besten Fahrerleben führt, sondern ein schnellerer Fahrstil (d.h. zügigere Beschleunigungs- und Bremsmanöver, stabil höhere Fahrgeschwindigkeit innerhalb des vorgegebenen Geschwindigkeitslimits) deutlich bevorzugt wird. Diese Präferenz für einen zügigeren Fahrstil zeigte sich in beiden Studien auch für die jüngeren Fahrer, für die diese Beschreibung in vielen Fällen auf den eigenen Fahrstil zutrifft. So bevorzugten jüngere Fahrer entweder ihren eigenen oder unter fremden Stilen einen schnelleren Fahrstil. Fahrer beider Altersgruppen lehnten einen langsameren Fahrstil im hochautomatisierten Kontext deutlich ab.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine individuelle Parametrisierung des hochautomatisierten Fahrstils in Anpassung an das Fahrverhalten jedes einzelnen Fahrers nicht zu einer Optimierung des Fahrerlebens führen wird. Wahrscheinlicher erscheint ein universeller Fahrstil, der von der Mehrzahl der Fahrer als komfortabel erlebt wird. Dies schließt die Möglichkeit zur Wahl zwischen einer überschaubaren Anzahl leicht modifizierter Fahrprofile oder zur individuellen Modifikation einzelner Fahrparameter durch den Fahrer jedoch nicht aus. Deutlich wird auch, dass der hochautomatisierte Fahrstil zwar eine notwendige, aber keine hinreichende Voraussetzung für ein positives Fahrerleben darstellt. So ließen sich über den

Diskomfort-Handregler auch Fahrsituationen identifizieren, in denen andere Aspekte der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, wie Informationskonzepte über das hochautomatisierte System, zur Herstellung eines positiven Fahrerlebens notwendig sind.

2.5 Arbeitspaket 4: Visionenpapier und Ergebnisverbreitung

Zum direkten Transfer der Projektergebnisse in die industrielle Praxis wurde im Januar 2016 ein ganztägiger Expertenworkshop mit insgesamt 19 Vertretern der Volkswagen AG, BMW AG, Daimler AG und designaffairs GmbH sowie des I-FAS der TU Chemnitz durchgeführt. Ziele des Workshops waren die Präsentation der Projektergebnisse und deren anschließende Diskussion in Kleingruppen mit zwei thematischen Schwerpunkten:

- Praxistransfer: die Bedeutung der im Projekt erzielten Ergebnisse für die Implementierung hochautomatisierten Fahrens im industriellen Kontext
- Forschungsbedarf: auf dem Projekt aufbauende und noch offene Forschungsfragen im Bereich des Fahrerlebens beim hochautomatisierten Fahren

Die erarbeiteten Inhalte bildeten die Grundlage für ein Visionenpapier zum nachhaltigen Transfer der Projekterkenntnisse in zukünftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Das Visionenpapier inklusive der detaillierten Ergebnisse des zugrundeliegenden Expertenworkshops ist unter 2.4 aufgeführt.



Abbildung 24. Ergebnispräsentation und Kleingruppen-Diskussion im Rahmen des Expertenworkshops.

2.6 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Ergebnisse sind für die akademische Lehre und Nachwuchsgewinnung besonders wertvoll, da ein für den Forschungs- und Industriestandort Deutschland zukunftsweisendes Themenfeld bearbeitet wurde. Das Vorhaben bedurfte zur Koordination und Bearbeitung finanzieller Mittel (Personalkosten, Reisekosten, etc.), welche seitens der TUC im Rahmen der Grundfinanzierung nicht aufgebracht werden konnten. Zudem war das wissenschaftlich-technische Risiko des Vorhabens als nicht unerheblich einzuschätzen.

Des Weiteren hätten die aufwändigen Arbeiten im Rahmen von AP 1 - AP 4 ohne adäquate Finanzierung nicht realisiert werden können. Hier sind besonders die technische Umsetzung der Versuchsträger sowie die Durchführung eines Workshops mit einem Expertenkonsortium aus der Automobilindustrie zu nennen.

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises können dem separat eingereichten zahlenmäßigen Schlussverwendungsnachweis entnommen werden.

2.7 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Automatisiertes Fahren eröffnet eine Vielzahl an neuen Möglichkeiten. Einen wesentlichen Aspekt stellt die veränderte Rolle des Fahrers dar. Das automatisiert fahrende Fahrzeug übernimmt die Fahraufgaben und macht den Fahrer zum Passagier. Mit der Veränderung der Fahrerrolle gehen allerdings bisher ungeklärte Forschungsfragen hinsichtlich der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion und der Art „des Gefahrenwerdens“ einher. Das Forschungsprojekt DriveMe widmete sich dem Forschungsbedarf in Bezug auf Aspekte des Fahrerlebens wie Fahrkomfort und Fahrspaß. Um zu untersuchen, wie hochautomatisiertes Fahren von den Fahrern unterschiedlicher Altersklassen erlebt wird, wurden zwei Probandenversuche, eine Fahrsimulatorstudie und eine Realfahrstudie, durchgeführt (siehe Kap. 2.1.1 und 2.1.3).

Mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen (siehe Anlage 4.1 und 4.2) und mit Erreichen der Projektziele konnten grundlegende Forschungsfragen im Bereich des automatisierten Fahrens adressiert werden, die die Basis für eine weiterführende anwendungsorientierte Forschung schaffen. Zur Einordnung, Priorisierung, Diskussion sowie Verbreitung der Ergebnisse aus beiden Studien wurde ein Expertenworkshop im Projekthaus METEOR der TU Chemnitz durchgeführt (siehe Kap. 2.1.4). Dabei wurden in drei Kleingruppen unterschiedliche Visionen für den weiteren Forschungsbedarf und den Transfer der bisher erzielten Ergebnisse in die Praxis erstellt. Die Auswertung der Gruppenergebnisse zeigt, dass eine Differenzierung zwischen *Forschungsbedarf* und *Transfer in die Praxis* nach übereinstimmenden Aussagen von OEMs und Forschungsinstitutionen mit den bisherigen Erkenntnissen kaum möglich ist. Eine konkrete Übertragung der Ergebnisse in die Praxis kann nur dann erfolgen, wenn zunächst weitere bestehende Wissenslücken geschlossen werden.

Die im Rahmen der Fahrsimulatorstudie und Realfahrstudie gewonnenen Erkenntnisse bezüglich Komfort bzw. Diskomfort bildeten für den Expertenworkshop die Diskussionsgrundlage. Den Experten war es aufgrund der bereits generierten Ergebnisse möglich, weitere blinde Flecke auf der Forschungslandkarte zum hochautomatisierten Fahren zu identifizieren. Insgesamt wurden fünf zentrale Einflussfaktoren aufgezeigt, in denen weitere Erkenntnisse hinsichtlich des Komfortlebens generiert werden müssen. Das sind im Wesentlichen der Einfluss (1) von Längs- und Querdynamik, (2) von Umgebungsvariablen aus dem Fahrzeugumfeld (3) inklusive der spezifischen Verkehrssituationen, (4) der Informationsbereitstellung und (5) der Einfluss einer Nebentätigkeit.

Im Detail bedeutet dies, für den Einfluss der Querdynamik sowie die Kombination aus Längs- und Querdynamik folgende Forschungsfragen zu beantworten:

- Welche Wechselwirkungen gibt es zwischen diesen Beschleunigungsarten?
- Welche Wechselwirkungen gibt es zwischen anderen Parametern, wie z.B. der Geschwindigkeit und dem Komfort erleben?

Weitere Einflussfaktoren, die das Komfort erleben beeinflussen können, stellen verschiedene Umgebungsvariablen und „komfortkritische“ (Verkehrs-) Situationen dar, die auf Fahrzeug und Fahrer einwirken. Beide Einflussfaktoren lassen sich nur schwer gesondert betrachten, da sie eng miteinander verknüpft sind. Bezüglich der Umgebungsvariablen wurde von den Experten kritisch angemerkt, dass das Versuchsdesign der Realfahrtstudie eher statischer Natur war und dies Auswirkungen auf das Komfort erleben haben könnte. Daher wurde empfohlen, die Umgebungsvariablen bei zukünftigen Studien bezüglich des Realitätsgrades anzupassen. Diese Aussage deckt sich mit der zuvor erwähnten Berücksichtigung von Quer- und Längsdynamik. Die Anpassung des Realitätsgrades kann durch die Integration von weiteren Verkehrssituationen in das Versuchsdesign erfolgen und so auf den Realverkehr übertragen werden. An dieser Stelle ist es zunächst nötig, „komfortkritische“ Situationen zu identifizieren, kategorisieren und zu priorisieren. Die Untersuchung sollte dabei zunächst abgeschlossen vom realen Verkehrsraum erfolgen. Erst im Anschluss ist eine Feldstudie realisierbar. Mögliche Forschungsfragen könnten hierfür lauten:

- Welche Verkehrssituationen werden von Fahrern als potenziell „komfortkritisch“ eingeschätzt?
- Gibt es Situationen, in denen ein funktionierendes System wiederholt vom Fahrer abgeschaltet wird? Falls dies zutrifft, in welchen Situationen trifft dies zu und was könnten mögliche Gründe dafür sein?
- Wie wird der Komfort eingeschätzt, wenn Situationen mit Handlungsbedarf entstehen, wie beispielsweise das Auffahren an einen langsamen Vorfahrer, Verengung der Straße, kritische Kreuzungen etc.?

Neben den bereits genannten Aspekten sollte auch ein möglicher Einfluss der Informationsbereitstellung eruiert werden. Bei diesem Aspekt ist bisher ungeklärt, welche Informationen der Passagier als ehemaliger Fahrer vom Fahrzeug benötigt, um die Fahrt als angenehm zu erleben. Beispielsweise sind Informationen bezüglich des Systemzustandes und der Reaktion des Systems auf andere Verkehrsteilnehmer (Rückmeldung des Fahrzeugs an den Fahrer, dass es beispielsweise das von rechts kommende Fahrzeug erkannt hat und darauf reagiert) von entscheidender Bedeutung. Allerdings ist unklar, welche Vorlaufzeit für die Informationseinblendung als geeignet und komfortabel vom Fahrer eingeschätzt wird. An dieser Stelle ist zusätzlich zu erwähnen, dass neben den genannten Fragestellungen auch technische Voraussetzungen geklärt werden müssen:

- Aus welcher Entfernung kann das automatisierte Fahrzeug nicht automatisiert fahrende Fahrzeuge erkennen?
- Wie können automatisierte Fahrzeuge CarToCar Kommunikation nutzen um den Komfort der Insassen zu gewährleisten?

Ein weiterer Aspekt, der dabei von den Experten umschrieben wurde, sind Post-Hoc-Informationen. Dieser Punkt zielt im Wesentlichen auf eine Art Tutorsystem ab, welches zu bereits vergangenen Situationen

Rückmeldung im HMI anzeigt und so Reaktionen des vollautomatisierten Fahrzeugs für Fahrer verständlicher macht. So werden die Passagiere in Zukunft besser auf Reaktionen des Systems vorbereitet und gewöhnen sich besser an diese. Daraus ergeben sich wiederum weitere Forschungsfragen:

- Welche Informationen bzw. Rückmeldungen wünscht/ benötigt der Fahrer vom Fahrzeug in welchen Situationen?
- Zu welchem Zeitpunkt benötigt der Fahrer vom Fahrzeug Informationen über das System?

In der durchgeführten Realfahrstudie war es das Ziel, die Einschätzungen der Probanden bezüglich ihres empfundenen Komforts in automatisierten Beschleunigungs- und Verzögerungsmanövern zu erheben. Prinzipiell kann es zukünftig möglich sein, in vollautomatisierten Fahrzeugen Zeitung zu lesen oder auch E-Mails zu bearbeiten etc. Im Rahmen des Expertenworkshops wurde daher diskutiert, ob die Bewältigung einer Nebentätigkeit Einfluss auf das Komforterleben hat. Zusätzlich muss geklärt werden, welche Art von Nebentätigkeiten für solche Untersuchungen geeignet sind. Auf Basis der Diskussion lässt sich folgender Forschungsbedarf ableiten:

- Macht es für die Bewertung des Komforterlebens einen Unterschied, wenn man Nebentätigkeiten im automatisierten Fahrzeug ausübt?
- Welche Nebentätigkeiten würden Fahrer tatsächlich im realen Straßenverkehr ausüben?

Neben den aufgeführten zentralen Faktoren gibt es noch weitere Aspekte, die eine Rolle für das Komforterleben spielen können und somit für die Übertragung hochautomatisierter Fahrprofile in die Praxis relevant sind. Dazu zählen (1) der Einfluss von Personenvariablen, (2) andere Kennwerte für die Komfortmessung sowie die Validierung des Handreglers, (3) Kennwerte bezüglich des Fahrstils und (4) die Wahrnehmung von anderen automatisierten Fahrzeugen.

Einen Einfluss auf das Komforterleben könnten auch unterschiedliche Personenvariablen der Autofahrer haben. Aufgrund der Differenzierung von spezifischen Fahrermerkmalen, wie etwa Fahrerfahrung, Fahrleistung oder Vorerfahrung mit automatisierten Fahrzeugen, könnten sich eventuell Anpassungen des Fahrverhaltens zur Verbesserung des Fahrerlebens im automatisierten Fahrzeug ergeben.

- Welche Rolle spielen Personenvariablen bei der Bewertung des Komforterlebens?
- Welche Personenvariablen sind bei Fahrstilen im automatisierten Fahren zu berücksichtigen?

Eine Möglichkeit, den empfundenen Komfort im Forschungskontext während einer Fahrt mit einem automatisierten Fahrzeug zu erfassen, ist der Handregler, wie er im Projekt DriveMe verwendet wurde. Weiterführende Untersuchungen unter Anwendung dieser Methode schaffen dabei ein besseres Verständnis der gewonnenen Ergebnisse. Darüber hinaus existieren weitere Kenngrößen, die für Untersuchungen zum Komforterleben im hochautomatisierten Fahren berücksichtigt werden können und zudem, anders als der Handregler, auch in der Fahrpraxis zur Komfortschätzung Anwendung finden könnten. Diese Kenngrößen können zum Beispiel physiologische Daten oder Emotionserkennung aus Videodaten sein.

Forschungsfragen die sich dabei ergeben, sind unter anderem:

- Welche Messverfahren könnte man noch heranziehen um Komfort im automatisierten Fahren zu messen?
- Welche physiologischen Kennwerte können zur Validierung der Handreglerdaten zur Bewertung des Komforts herangezogen werden?
- Aus welchem Grund wurde der Handregler in bestimmten Situationen verwendet?

Der Einfluss von verschiedenen Fahrstilen auf den Fahrkomfort wurde in DriveMe nur teilweise berücksichtigt (siehe Kapitel 2.1.2 Modellierung). Anhand der Fahrsimulatordaten wurden verschiedene Beschleunigungsverläufe abgeleitet und in der Realfahrtstudie bezüglich des Komforterlebens überprüft. Tendenziell favorisierten die Probanden einen zügigeren Beschleunigungsverlauf (siehe Kapitel 2.1.3). Da das Untersuchungsverfahren jedoch nicht vollständig realitätsnah war, sind weitere Untersuchungen anzustreben. Für die Gestaltung von angenehm erlebtem automatisiertem Fahren sollten die Beschleunigungsverläufe weiterführend in realitätsnäheren Studien untersucht werden, um entsprechende Grenzwerte bezüglich der Quer- und Längsbeschleunigung zu identifizieren und zu definieren. Diese Veränderung könnte auch durch die entsprechenden Fahrercharakteristika angepasst werden, da sich bei Experten im Vergleich zu Novizen Unterschiede hinsichtlich des Informationsbedürfnisses und Komforterlebens ergeben könnten. Dabei ist jedoch zu beachten, dass eine kontinuierliche Adaptivität des Fahrstils unerwünschte Auswirkungen auf den Fahrer haben. Der automatisierte Fahrstil des Fahrzeuges wäre bei Anwendung einer ständigen Anpassung für den Passagier nicht mehr vorhersehbar, wodurch das Vertrauen in das Fahrzeug voraussichtlich sinken würde. Daher ergeben sich erneut offene Forschungsfragen, die es zu untersuchen gilt:

- Inwieweit ist es möglich, Anpassungen am Fahrstil (in Abhängigkeit der Fahrermerkmale, Situationen und Umfeld) vorzunehmen?
- Welche Anpassungen können vorgenommen werden, ohne den Fahrer zu verunsichern?

Einen weiteren Forschungsbedarf stellt die soziale bzw. gesellschaftliche Wahrnehmung des hochautomatisierten Fahrens dar. Bisher ungeklärt, auch aufgrund rechtlicher Beschränkungen, ist die Frage, wie umgebender Verkehr automatisierte Fahrzeuge wahrnimmt:

- Was für eine Außenwirkung haben automatisierte Fahrzeuge auf die anderen Verkehrsteilnehmer/Gesellschaft?
- Wie spiegelt sich dies auf die Fahrer von automatisierten Fahrzeugen wider und welche Einstellungen zu automatisiertem Fahren bilden sie darauf?

Im Rahmen des Forschungsprojektes DriveMe, konnten, wie oben dargestellt, erste grundlegende Erkenntnisse bezüglich der Zusammenhänge zwischen hochautomatisiertem Fahren und dem Komforterleben der Insassen gewonnen werden. Auf Basis der Studienergebnisse wurde ein Visionenworkshop mit Experten aus der Automobilindustrie durchgeführt, um die gewonnenen Erkenntnisse einzuordnen und deren praktische Relevanz einschätzen zu können. Des Weiteren zielten die Diskussionen im Workshop darauf ab, weitere relevante und grundsätzliche Forschungsfragen zu eruieren, damit weitere Forschungsarbeit geleistet werden kann, um zurzeit bestehende Wissenslücken zu schließen und einen weiteren Schritt in Richtung Markteinführung zu gehen.

2.8 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind keine derartigen Ergebnisse bekannt.

2.9 Erfolgte / geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

2.9.1 Laufende studentische Abschlussarbeiten

- Stephanie Brüggemann (Masterarbeit), Arbeitstitel: Einfluss von Fahrermerkmalen auf den erlebten Fahrkomfort im Fahrsimulator.
- Marc Basler (Bachelorarbeit), Arbeitstitel: Ermittlung einer Komfortzone bei Beschleunigungs- und Verzögerungsmanövern in hochautomatisierter Fahrten.
- Svenja Essl (Bachelorarbeit), Arbeitstitel: Diskomforterleben im automatisierten Fahren.
- Jonas Erhorn (Masterarbeit), Arbeitstitel: Einfluss von Fahrermerkmalen auf den erlebten Fahrkomfort in einer automatisierten Realfahrt.

2.9.2 Tagungsbeiträge

- Hartwich, F., Beggiato, M., Dettmann, A., & Krems, J.F. (2015). Drive me Comfortable: Individual Customized Automated Driving Styles for Younger and Older Drivers. In VDI (Eds.). Der Fahrer im 21. Jahrhundert. VDI-Berichte 2264 (pp.271-283). Düsseldorf: VDI-Verlag. ISBN 978-3-18-092264-5.
- Scherer, S., Dettmann, A., Hartwich, F., Pech, T., Bullinger, A. C. & Wanielik, G. (2015). How the driver wants to be driven – Modelling driving styles in highly automated driving. 7. Tagung Fahrerassistenz, München, 25.-26.11.2015. Online verfügbar unter <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1285220/1285220.pdf>.
- Hartwich, F., Beggiato, M., & Krems, J. F. (in press). The impact of automation on older and younger drivers' perception of driving comfort and joy. In Beiträge zur 58. Tagung experimentell arbeitender Psychologen. Lengerich: Pabst Science Publishers.

2.9.3 Geplante Veröffentlichungen und Verwertung

Tabelle 3. Überblick über die geplante Verwertung der Projektergebnisse.

Lfd. Nr.	Bezeichnung der Verwertungsaktivität	Zielgruppe	Zeithorizont
1	Lehrveranstaltungen zur nutzerzentrierten Entwicklung an der TU Chemnitz	Studierende an der TU Chemnitz	2016
2	Verwertung für die Beantragung weiterer Forschungsunternehmungen	Forschungseinrichtungen, Wissenschaftler, Industrie	2016
3	Verbreitung der Ergebnisse der Realfahrstudie auf der Konferenz FAS & AF 2016	Themenverwandte Wissenschaftler	2016
4	Veröffentlichung der Ergebnisse der Realfahrstudie auf der Konferenz HFES 2016	Themenverwandte Wissenschaftler	2016
5	Veröffentlichung in Fachzeitschrift: Thema Fahrstil & Fahrkomfort (Simulatorstudie)	Themenverwandte Wissenschaftler	2016
7	Veröffentlichung in Fachzeitschrift: Thema trust in automation und Akzeptanz (Simulator- und Realfahrstudie)	Themenverwandte Wissenschaftler	2016

3 Literaturverzeichnis

- Ammon, D. (2013). Systemtechnische Überlegung auf dem Weg zum automatisierten Fahren. In *Der Fahrer im 21. Jahrhundert Bd. VDI-Berichte, 2205* (S.201-212). Braunschweig: VDI Verlag GmbH.
- Beggiato, M. & Krems, J. F. (2013). The evolution of mental model, trust and acceptance of adaptive cruise control in relation to initial information. *Transportation Research Part F, 18*, 47-57. doi: 10.1016/j.trf.2012.12.006.
- Braukmann, W. (1981). Empirische Überprüfung eines Verfahrens zur Erfassung von Kontrollmotivation. *Forschungsbericht aus dem Projekt „Entwicklungspsychologie des Erwachsenenalters“, Nr. 17*. Trier: Universität Trier.
- Burger, J. M. & Cooper, H. M. (1979). The desirability of control. *Motivation and Emotion, 3*, 381-393.
- Chen, J., Zhao, P., Mei, T., & Liang, H. (2013). Lane change path planning based on piecewise Bezier curve for autonomous vehicle. In *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)* (S.17-22). doi: 10.1109/ICVES.2013.6619595.
- Dalbert, C. (1999). Die Ungewissheitstoleranzskala: Skaleneigenschaften und Validierungsbefunde. *Hallesche Berichte zur Pädagogischen Psychologie, 1*, 4-23.
- Engelbrecht, A. (2013). *Fahrkomfort und Fahrspaß bei Einsatz von Fahrerassistenzsystemen* (Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin). München: Grin Verlag.
- Gasser, T. (2013, November). Herausforderung automatischen Fahrens und Forschungsschwerpunkte. Beitrag auf der 6. *Tagung Fahrerassistenz* der TÜV-Süd Akademie GmbH, München.
- Guizzo, E. (2011, Oktober). How google's self-driving car works. *IEEE Spectrum Online, 18*. Abgerufen von <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificial-intelligence/how-google-self-driving-car-works>
- Hoyle, R. H., Stephenson, M. T., Palmgreen, P., Lorch, E.P., & Donohew, R. L. (2002). Reliability and validity of a brief measure of sensation seeking. *Personality And Individual Differences, 32*(3), 401-414. doi:10.1016/S0191-8869(01)00032-0.
- 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.
- Körner, A., Geyer, M., Roth, M., Drapeau, M., Schmutzer, G., Albani, C., Schumann, S., & Brähler, E. (2008). Persönlichkeitsdiagnostik mit dem NEO-Fünf-Faktoren-Inventar: Die 30-Item-Kurzversion (NEO-FFI-30). *Psychotherapie, Psychosomatik, Medizinische Psychologie, 58*(6), 238-245. doi:10.1055/s-2007-986199.
- Löper, C., Kelsch, J., Flemisch F. O. (2008). Kooperative, manöverbasierte Automation und Arbitrierung als Bausteine für hochautomatisiertes Fahren. In Gesamtzentrum für Verkehr Braunschweig (Hrsg.), *Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel* (S. 215 – 237). Braunschweig: GZVB.

Nagel, H. (1994). A Vision of 'Vision and Language' Comprises Action: An Example from Road Traffic. *Artificial Intelligence Review*, 8(2-3), 189-214. doi:10.1007/BF00849074.

Sung, K. & Kwak, D. (2012). System architecture for autonomous driving with infrastructure sensors. In *6th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS)*, 1(6) (S.12-14). doi: 10.1109/ICSPCS.2012.6508023.

Urmson, C., Anhalt, J., Bagnell, D., Baker, C., Bittner, R., Clark, M. N., Ferguson, D. (2008). Autonomous driving in urban environments: Boss and the urban challenge. *Journal of Field Robotics*, 25(8), 425-466.

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), 1-10. doi: 10.1016/S0968-090X(96)00025-3.

Wille, J. M. & Form, T. (2008). Realizing Complex Autonomous Driving Maneuvers – The Approach Taken by Team CarOLO at the DARPA Urban Challenge. In *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)* (S. 232–236). doi: 10.1109/ICVES.2008.4640889.

Wille, J. M., Saust, F., & Maurer, M. (2010). Comprehensive Treated Sections in a Trajectory Planner for Realizing Autonomous Driving in Braunschweig's Urban Traffic. In *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (S. 647-652). doi: 10.1109/ITSC.2010.5625155.

4 Anhänge

4.1 Conference paper zur 8. VDI-Tagung „Der Fahrer im 21. Jahrhundert“ (10.-11.11.2015)

Drive Me Comfortable

Customized Automated Driving Styles for Younger and Older Drivers

Dipl.-Psych. **F. Hartwich**, Dr. **M. Beggiato**, Dipl.-Ing. **A. Dettmann**, Prof. Dr. **J. F. Krems**, TU Chemnitz

Kurzfassung

Hochautomatisiertes Fahren eröffnet neue Perspektiven für die zukünftige Mobilität aller Altersgruppen. Doch mit der Veränderung der Fahrerrolle vom aktiv Fahrenden zum Passagier ergeben sich auch neue Fragestellungen der Mensch-Technik-Interaktion, welche zur Absicherung der Akzeptanz und damit der Nutzung dieser Technologie berücksichtigt werden müssen. Höchster Forschungsbedarf besteht für Aspekte des Fahrerlebens wie Komfort oder Spaß. So ist unklar, wie jüngere und ältere Fahrer hochautomatisiertes Fahren überhaupt erleben, oder ob dieses Fahrerleben über den Fahrstil, vor allem über dessen Ähnlichkeit zum eigenen Fahrstil, verbessert werden kann. Diese Fragestellungen wurden im Rahmen einer explorativen Fahrsimulatorstudie untersucht. Zwanzig jüngere und zwanzig ältere Fahrer absolvierten je eine manuelle Fahrt und vier automatisierte Fahrten, welche entweder auf ihrem eigenen oder einem anderen Fahrstil basierten. Komfort und Spaß wurden nach jeder Fahrt per Fragebogen erhoben. Zudem wurde Diskomfort über einen Handregler online während jeder automatisierten Fahrt erfasst. Die Ergebnisse zeigen, dass hochautomatisiertes Fahren den Fahrkomfort beider Altersgruppen verbessert, jedoch den Fahrspaß für jüngere Fahrer zumindest ohne die Möglichkeit zu Nebentätigkeiten verringert. Fahrer aller Altersgruppen präferieren einen automatisierten Fahrstil, der eher dem typischen Fahrstil eines jüngeren Fahrers entspricht. Diese Ergebnisse verdeutlichen den positiven Effekt der Automatisierung auf das Fahrerleben sowie die Modifizierbarkeit dieses Erlebens über den Fahrstil.

Abstract

Highly automated driving opens up new prospects for the mobility of all age groups in the near future. But with the transition of the human's role from driver to passenger, new aspects of human-technology-interaction have to be investigated to ensure the acceptance of this

upcoming technology as a crucial condition for its usage. One main research need is drivers' experience which subsumes aspects like comfort and joy. Little is known about how younger and older drivers experience automated driving or how the automated driving style, especially its similarity to their manual driving style, influences their experience of comfort and joy. Thus, we conducted an exploratory driving simulator study to compare drivers' experience during manual driving and differently parameterized forms of highly automated driving in consideration of drivers' age. Twenty younger and twenty older drivers performed a manual and four highly automated drives based on either their own or other driving styles. Comfort and joy were assessed after each drive via questionnaire. Discomfort was assessed online during each automated drive via handset control. Results show that driving highly automated improves the driving comfort for both age groups, but reduces joy of driving for younger drivers, at least if no secondary activities are available. Drivers of all ages prefer to be driven based on a driving style that is more typical for younger than for older drivers. In summary, a positive drivers' experience of highly automated driving can be assumed as given and as adjustable via driving style.

1. Introduction

Highly automated driving is a fast emerging technology that will open up new prospects for the mobility of all age groups in the near future. The technical progress promises benefits regarding flow of traffic, pollutant emission, and road safety [1]. By compensating for human driving errors, automated driving is expected to enhance mobility opportunities especially for older drivers, whose mobility is restricted by age-related changes in perception, cognition, and motor functions [2] that can have a negative impact on driving performance [3]. While technology-centered research and development in the domain of automated driving are progressing rapidly, associated questions of human-machine-interaction have not yet been investigated sufficiently [4, 5]. Consequently, there is little available knowledge on drivers' needs and preferences as well as their implications for human-machine-interaction in this context.

Driving comfort is considered as important research need in order to ensure the acceptance of automated driving as a crucial condition for its usage [6]. Although driving comfort is an established objective of human factors assessments, most of the previous studies focused on ergonomic aspects like interior climate, noise protection, or driver's seat construction. But with the "paradigm shift from the role of humans as drivers, to the role of passengers in autonomous cars, (...) termed the loss of controllability" [6, p. 6] associated with the progressing automation of driving, comfort becomes more a psychological than an ergonomic issue. Though one could conclude that the transfer of the complex driving task from the driver to the car might be experienced as facilitation and therefore should increase driving comfort, it is also imaginable that the loss of controllability will lead to a very uncomfortable drivers' experience. As this relationships have not yet been clarified, there "is a need to assess passenger comfort in

autonomous cars” [6, p. 13]. Another important aspect of drivers’ experience is joy of driving [7] which has been identified as one of the main factors influencing the decision to purchase a vehicle [8]. As one facet of driving joy is an active interaction with the car and the driving environment [8], it is unclear how the role change from an active driver to a passenger due to the automation will influence this aspect of drivers’ experience.

In this context, little is known about how drivers want to be driven highly automated and how the automated driving style influences their experience of comfort and joy. One approach to address these questions is to consider each driver’s manual driving style: „Executing familiar maneuvers would undoubtedly contribute to the passenger comfort improvement, as they would eradicate the sense of having a robotic operator” [6, p.12]. This idea is particularly interesting to be examined for older drivers, whose driving styles are characterized by strategies (e.g. driving slower) which are developed to compensate for age-related impairments [9].

To get a better understanding of these relations, this exploratory study aimed at comparing drivers’ experience during manual driving and differently parameterized forms of highly automated driving in consideration of drivers’ age. In detail, we addressed two research questions: First, we wanted to know if highly automated driving is perceived as less or more comfortable and joyful than manual driving by potential future costumers of different age groups. Second, we examined if automated driving is experienced as more comfortable and joyful when the automated driving style is based on the driver’s own driving style. We also considered drivers’ age for this research question to understand if both younger and older drivers want to be driven highly automated like they drive manually.

2. Method

Experimental Design

We conducted a two-stage driving simulator experiment to implement highly automated driving in a safe and standardized environment. To investigate age-specific effects of drivers’ experience, the study was executed with 20 younger (25-45 years) and 20 older (> 65 years) drivers. Each participant performed the same simulator route one time as a manual drive and four times as highly automated drives based on different driving styles.

Participants

The sample consisted of 40 participants with a valid driving license. Twenty of them (10 female, 10 male) belonged to the younger group with a mean age of 27.8 years (SD = 2.1) and a mean holding of driving license of 9.5 years (SD = 5.2). The 20 participants in the older group (9 female, 11 male) had a mean age of 69.2 years (SD = 6.0) and a mean holding of driving license of 47.4 years (SD = 10.7).

Facilities and Simulated Route

All drives were performed in a static driving simulator with a 180° field of view. Using the simulation software SILAB 4.0, we created a 7.5 km long driving route, including 2.5 km of a one-lane rural road and 5 km of a two-lane highway. The route consisted of 11 consecutive scenarios, which could be handled differently by different driving styles (e. g. stopping at a red traffic light, entering the highway, leaving the highway).

During the highly automated drives, the recorded dataset of the manual drives was played back into the simulator and presented to the participants, while they sat on the driver's seat. Activities on pedals and steering wheel had no effect. Driving data was recorded at a frequency of 60 Hz.

Assessment of Driving Comfort and Joy

Comfort and joy experienced by the participants were assessed after every drive by a standardized questionnaire based on [7] which was developed to “measure drivers' notions of the convenience and joy of driving” (p. 6). It consists of 32 five-point agreement-scale items that represent the four dimensions *convenience*, *lack of convenience*, *joy*, and *lack of joy*.

As we did expect driving comfort to differ between different driving scenarios, we additionally developed an online-measure to assess drivers' experience continuously while driving highly automated. This measure was expected to be less influenced by memory effects and cognitive biases than the single assessment of the whole route after driving. Therefore, we integrated an ACD pro 10 handset control in the driving simulator. This instrument could be used by participants to indicate their current level of discomfort on a scale between 0 (very comfortable) to 100 (very uncomfortable) (see figure 1): The more uncomfortable they felt, the more they were asked to press the button of the controller, in accordance with the natural reaction of cramping the hands in an uncomfortable situation. The handset control input was converted into a digital signal that was recorded for the whole drive synchronously with the driving data. A display in the dashboard supplied the participants with a visual feedback of the currently entered value on the 0-to-100-scale. This method was applied to the four automated drives, but not to the manual drive to avoid cognitive and motor distraction due to handling the controller.



Figure 1: Handset control (left) and visual feedback (right) for the online-measurement of driving discomfort while driving highly automated. Higher values indicate higher discomfort.

Procedure

The experiment was divided into two stages that took part on different dates. Before starting, participants were informed about the experiment's procedure and signed a written informed consent.

The first stage of the experiment started with a five minute training drive to get familiar with the driving simulator. Then, participants performed the manual drive. Afterwards, they experienced their own driving style in a highly automated drive by sitting on the driver's seat and watching a replay of their manual drive. Throughout the whole automated drive, participants were instructed to rate their currently experienced driving discomfort using the handset control. After each drive, the questionnaire was applied. Additionally, drivers' needs regarding changes of the driving style in order to improve driving comfort were assessed via interviews.

In the second stage of the experiment, participants experienced three different automated drives in a randomized order: One drive based on their own driving style and two different drives based on the driving style of other participants of this study. Therefore, we selected all drives without any driving mistakes (e.g. accidents) or maneuvers that would be implausible for automated driving (e.g. missing the exit of the highway) out of the 40 drives that were recorded from the 40 participants during the experiment's first stage. Thus, we generated a pool of 16 suitable drives. Two randomly chosen drives out of this pool were presented to every participant, only making sure that no one saw his own drive again or the same drive two times. For every drive, drivers' experience was assessed during driving via handset control and after driving via questionnaire.

3. Results

Data Preparation

We calculated three dependent variables for every participant: For each automated drive, we summed up the discomfort indicated by every participant via handset control during the whole drive. To control for participants' different overall frequencies of using the controller, each drive's sum was standardized by the total sum of discomfort values of each participant over all automated drives: The percentage of discomfort experienced by one participant in one drive measured against the discomfort experienced by this participant in all automated drives in total served as *discomfort* indicator for each automated drive performed by this participant.

We obtained two dimensions, driving *comfort* and *joy*, from the questionnaire answered after every automated and the manual drive. In contrast to the four postulated dimensions [7], an analysis of the questionnaire's factorial structure based on our data produced only these two dimensions. According to this result, we calculated the perceived *comfort* as mean value of the *convenience*- and the inverted *lack of convenience*-items as well as the perceived *joy* as mean value of the *joy*- and the inverted *lack of joy*-items.

To compare the different driving styles presented to the participants in the second stage of the experiment, we calculated a distance measure including those aspects of driving behavior that

were relevant for drivers' experience based on the interviews in the experiment's first stage. Driving speed, acceleration intensity and breaking intensity were determined as the three driving parameters with the most impact on drivers' experience. Thus, we interpreted the speed profile of each drive as indicator of its driving style, as it combines all of these three parameters. To compare two driving styles, we calculated the area between their two speed profiles along the whole route. The smaller this distance measure is, the more similar the two drives are in terms of their speed behavior. Positive values indicate that the driving style presented to a participant was faster than his own style, on average. Negative values indicate a slower driving style presented to the participant.

Drivers' Experience Differences between Manual and Highly Automated Driving

Younger and older drivers' experience in manual and highly automated driving were compared performing mixed ANOVAs for *comfort* and *joy*, with drive as repeated within-subject factor and age group as between-subject factor. Figure 2 shows the mean values of both dependent variables for both drives, separated by age group.

Drivers of both age groups reported significant higher *comfort* values for the automated drive than for the manual drive, $F(1, 38) = 34.807, p < .001, \eta_p^2 = .478$. This effect is true for younger and older drivers, as there is no significant interaction of drive and age group, $F(1, 38) = .007, p = .935, \eta_p^2 = .000$. There is also no significant age difference, meaning that the overall driving comfort was not perceived differently by differently aged drivers, $F(1, 38) = .117, p = .735, \eta_p^2 = .003$.

We found a significant effect of drive on *joy*, indicating automated driving to be less joyful than driving manually, $F(1, 38) = 8.371, p = .006, \eta_p^2 = .181$. However, looking at the significant interaction between drive and age group, it becomes clear that this effect can only be assumed for younger drivers, whereas older drivers experienced no joy differences between manual and automated driving, $F(1, 38) = 18.222, p < .001, \eta_p^2 = .324$. Generally, older drivers reported more joy than younger drivers for both drives, as indicated by the significant age effect, $F(1, 38) = 13.213, p = .001, \eta_p^2 = .258$.

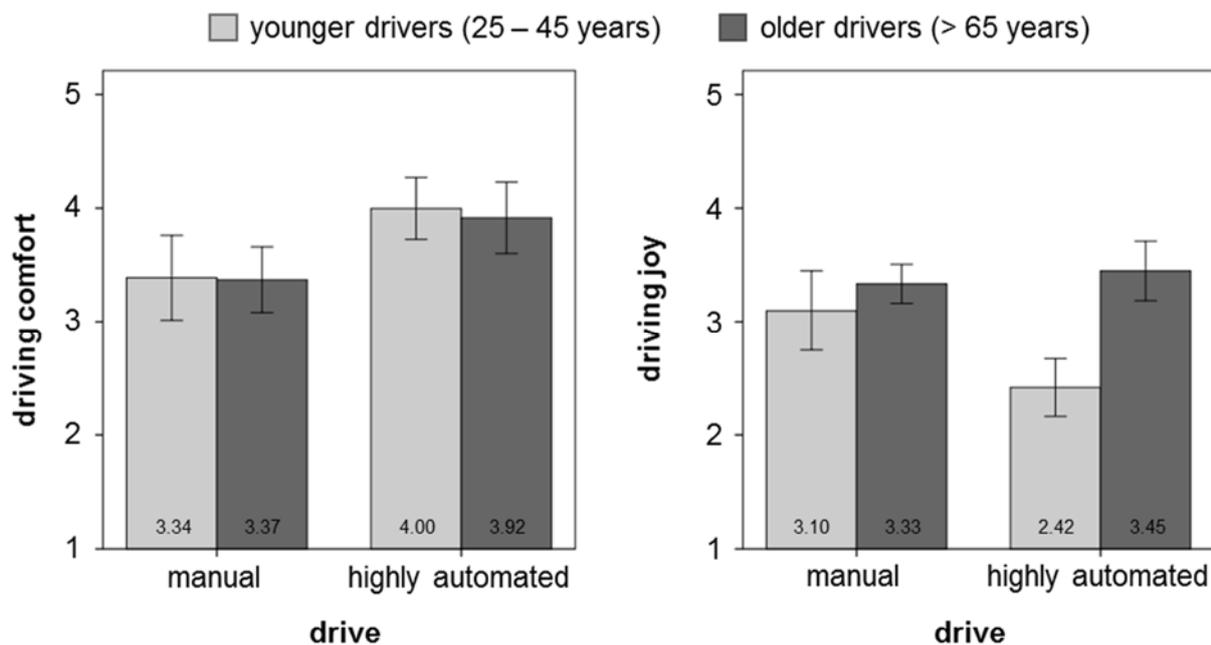


Figure 2: Mean values of driving *comfort* and *joy* perceived by younger and older drivers for manual vs. highly automated driving. Higher values indicate higher *comfort* or *joy*.

Impact of Automated Driving Style on Drivers' Experience

To examine the impact of different automated driving styles on younger and older drivers' experience, we compared their *comfort*, *joy* and *discomfort* ratings of the three automated drives they performed in the second stage of the experiment: One based on their own driving style and two based on different driving styles of randomly chosen other participants. Effects were tested in mixed ANOVAs for all three dependent variables, with driving style as repeated within-subject factor and age group as between-subject factor. All age group's mean values of *comfort* and *joy* are shown in figure 3.

Overall, driving *comfort* achieved values higher than medium in all drives for both age groups. Driving style had no significant impact on the rating, indicating that the participants did not perceive their own driving style to be more or less comfortable than other styles when driving highly automatically, $F(2, 70) = .169$, $p = .845$, $\eta_p^2 = .005$. There is also no significant difference in the overall ratings of younger versus older drivers, $F(1, 35) = .100$, $p = .754$, $\eta_p^2 = .003$. But a significant interaction between drive and age group implies that comfort differences between the three drives were not perceived in the same way by younger and older drivers, $F(2, 70) = 4.698$, $p = .012$, $\eta_p^2 = .118$: While younger drivers tended to perceive automated drives based on other driving styles as less comfortable than those based on their own style, older drivers tended to prefer other driving styles over their own.

As for *joy*, there is a significant effect of driving style, indicating more joy to be experienced in those drives based on other driving styles, $F(2, 70) = 4.108$, $p = .021$, $\eta_p^2 = .105$. However, the

significant interaction between driving style and age group clarifies that this effect can only be assumed for older drivers, but not for younger drivers, $F(2, 70) = 7.724$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .181$. Generally, older drivers reported repeatedly significant more joy than younger drivers, $F(1, 35) = 930.662$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .324$.

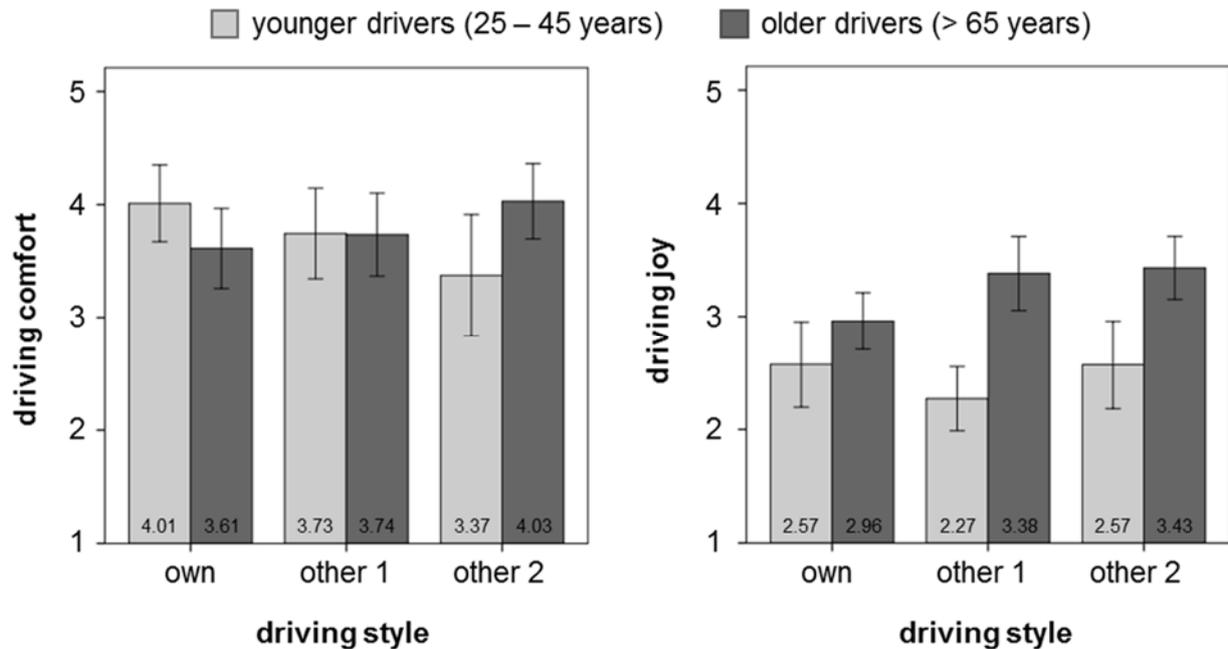


Figure 3: Mean values of driving *comfort* and *joy* perceived by younger and older drivers for different highly automated driving styles. Higher values indicate higher *comfort* or *joy*.

The questionnaire results regarding driving *comfort* were mostly confirmed by the *discomfort* values of the online measurement that are shown in figure 4.

Driving style had no significant impact on the perceived *discomfort* during the drives, $F(2, 62) = .361$, $p = .698$, $\eta_p^2 = .012$. There was also no significant difference between the discomfort ratings of younger and older drivers, $F(1, 31) = .000$, $p = 1.00$, $\eta_p^2 = .000$. As for the interaction between driving style and age group, figure 4 shows that younger drivers tended to experience more discomfort in automated drives based on other driving styles compared to their own style, while this difference cannot be seen for older drivers. However, in contrast to the driving *comfort* reported after the drive, this interaction turns out not to be significant for the *discomfort* ratings while driving, $F(2, 62) = 1.937$, $p = .153$, $\eta_p^2 = .059$.

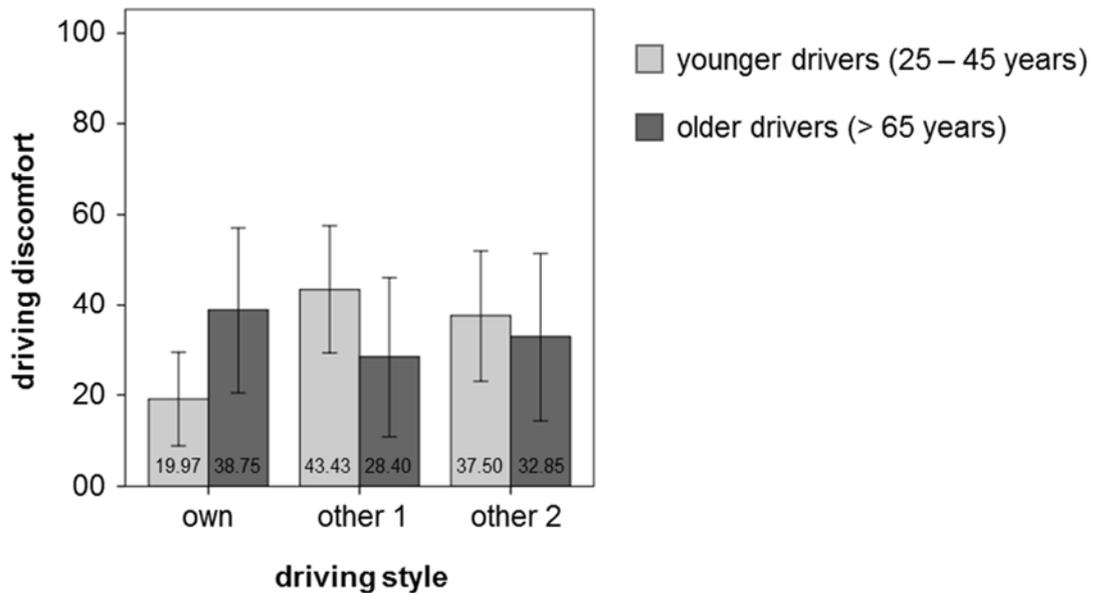


Figure 4: Younger and older drivers' standardized *discomfort* ratings for different highly automated driving styles. Higher values indicate higher *discomfort*.

The impact of different automated driving styles on drivers' experience becomes clearer looking at the correlation coefficients shown in table 1. We correlated the distance measure of the participants' own driving styles and the ones presented to them as automated drives with the three measurements of drivers' experience over all 120 drives performed by the 40 participants in the second stage of the experiment.

Table 1: Correlations between familiarity of automated driving style and drivers' experience.

	Younger drivers (60 drives)		Older drivers (60 drives)		Total sample (120 drives)	
	Distance between own and presented driving style (area between the speed profiles)					
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
<i>Discomfort</i> (handset control)	-.076	.595	.108	.466	.053	.600
<i>Comfort</i> (questionnaire)	.145	.302	-.009	.947	.052	.583
<i>Joy</i> (questionnaire)	.269	.051	.379**	.003	.463**	.000

Over all participants, there are no significant correlations between the distance measure and driving comfort, both indicated by the *comfort* rated after driving and the *discomfort* rated during driving. But there is a highly significant correlation between the distance measure and *joy*, meaning that the faster the automated drive was in comparison to a participants own drive, the

more he enjoyed the automated drive. Consistent with the results of the ANOVAs, looking at the different age groups, this effect can only be found for older, but not for younger drivers.

4. Discussion and Conclusions

One focus of this research was to find out if younger and older drivers experience highly automated driving as less or more comfortable and joyful than manual driving, which is supposed to be relevant for the future acceptance and thus usage of highly automated vehicles. Results show that driving highly automated can improve the driving comfort for both age groups. Thus, the facilitation due to the transfer of the complex driving task seems to influence drivers' experience more than the concerns associated with the loss of controllability, even during the first automated drive, where drivers are not yet accustomed to it. At least for younger drivers, this positive effect of automation cannot be assumed for all aspects of drivers' experience, as they experienced automated driving as less joyful than manual driving. This result could partly be traced back to the loss of active interaction with car and environment due to the automation. But it can also be partly explained by our experimental design because the omission of driving-connected activities could not be compensated by secondary activities like reading or checking emails. These circumstances could have supported feelings of boredom that might have negatively affected the experienced joy. This is in line with previous findings showing that automated driving is considered as more boring by mid-aged drivers, if they are not allowed to pursue secondary activities [10]. Interestingly, this loss of driving joy could not be found for older drivers. Potentially, the experience of driving more effortlessly outbalances the loss of active interaction for this age group. Overall, these results imply that one important precondition of the acceptance of automated driving can be assumed as given: Drivers of different age groups experience automated driving in a positive manner.

Further, we wanted to know if comfort and joy perceived by younger and older drivers can be improved by basing the automated driving style on their respective manual driving styles. We could not find significant effects of the automated driving styles' similarity to drivers' manual driving styles on perceived comfort or discomfort for the total sample. But the interactions between driving style familiarity and drivers' age imply different preferences of different driver groups: While younger drivers tend to prefer their own driving style over other styles, older drivers tend to experience their own driving style as less comfortable than other styles. In other words, drivers of all ages prefer to be driven based on a driving style that is more typical for younger than for older drivers. This is not surprising for younger drivers, but interesting for older drivers, as it shows that they do not prefer a driving style characterized by age-specific driving strategies as soon as those are not necessary anymore to compensate for age-typical changes of the driving performance. This goes along with the findings regarding experienced driving joy:

Older drivers enjoy other driving styles more than their own style when applied to highly automated driving. This effect cannot be found for younger drivers.

Based on these results, it can be concluded that the most comfortable driving style for older drivers should not be based on their own driving style, as the benefit of age-specific manual compensation strategies seems to be limited to safety aspects, but not to aspects of drivers' experience. Basing the automated driving style on a driver's manual driving style seems more plausible for younger drivers. The exact relationship between driving style familiarity and drivers' experience has to be explored further for this age group. Considering the results presented here, it is still conceivable that there might be one automated driving style that is preferred by the majority of drivers, regardless of their age. As for older drivers, this study also shows that automated driving could not only mean the expected improvement of driving safety [6], but also a regain of joy. Considering the high importance of mobility for healthy aging [11], automated driving has a huge potential to contribute to a high quality of life up to high age.

From a methodological point of view, the comparability of the comfort results obtained from standardized questionnaires after driving and the discomfort results achieved during driving prove that the handset control can be used as a valid online measure for the experienced discomfort during automated driving. Beyond the results reported in this paper, this method gives the opportunity to analyze different driving situations along the route separately or compare them to each other in order to examine situational influences on drivers' experience during automated driving.

A limitation of the study is the usage of a static driving simulator which has two implications that could have affected drivers' experience: First, participants know that system failures have no real safety effects. Second, physical motion cannot be experienced. Therefore, the results of this driving simulator study are validated in a currently running follow-up study on a real test track (overview over the "DriveMe"-project in [12]).

5. Acknowledgements

This research is funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) (Project: DriveMe, FKZ: 16SV7119).

6. References

- [1] Meyer, G. & Deix, S.: Research and innovation for automated driving in Germany and Europe. In Lecture Notes in Mobility, Road Vehicle Automation, Meyer, G. & Beiker, S., Eds., Cham: Springer International Publishing 2014 p. 71-84
- [2] Kaiser, H. J. & Oswald, W. D.: Autofahren im Alter - eine Literaturanalyse. Zeitschrift für Gerontopsychologie & -psychiatrie, 13 (2000) 3/4 p. 131-170

- [3] Bayam, E., Liebowitz, J. & Agresti, W.: Older drivers and accidents: A meta analysis and data mining application on traffic accident data. *Expert Systems with Applications*, 29 (2005) 3 p. 598-629
- [4] Gasser, T. M.: Herausforderung automatischen Fahrens und Forschungsschwerpunkte. 6. Tagung Fahrerassistenz, München, 2013
- [5] Banks, V. A. & Stanton, N. A.: Keep the driver in control: Automating automobiles of the future. *Applied Ergonomics* (in press)
- [6] Elbanhawi, M., Simic, M. & Jazar, R.: In the Passenger Seat: Investigating Ride Comfort Measures in Autonomous Cars. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine* 7 (2015) 3 p. 4-17
- [7] Engelbrecht, A.: Fahrkomfort und Fahrspaß bei Einsatz von Fahrerassistenzsystemen. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin 2013
- [8] Tischler, M. A. & Renner, G.: Ansatz zur Messung von positivem Fahrerleben. Die Messung von Fahrspaß und Ableitungen für die Fahrzeuggestaltung. In *Fahrer im 21. Jahrhundert. Human Machine Interface. VDI-Berichte 2015*, VDI Wissensforum, Eds., Düsseldorf: VDI Verlag (2007) p. 105-117
- [9] Langford, J. & Koppel, S.: Epidemiology of older driver crashes – Identifying older driver risk factors and exposure patterns. *Transportation Research Part F* 9 (2006) 5 p. 309-321
- [10] Beggiato, M., Hartwich, F., Schleinitz, K., Krems, J., Othersen, I. & Petermann-Stock, I.: What would drivers like to know during automated driving? Information needs at different levels of automation. 7. Tagung Fahrerassistenz, München, in press
- [11] Satariano, W. A., Guralnik, J. M., Jackson, R. J., Marottoli, R. A., Phelan, E. A. & Prohaska, T. R.: Mobility and aging: New directions for public health action. *American Journal of Public Health*, 102 (2012) 8 p. 1508-1515
- [12] Scherer, S., Dettmann, A., Hartwich, F., Pech, T., Bullinger, A. C., Krems, J. F. & Wanielik, G.: How the driver wants to be driven - Modelling driving styles in highly automated driving. 7. Tagung Fahrerassistenz, München, in press

4.2 Conference paper zur 7. Tagung Fahrerassistenz (25.-26.11.2015)

How the driver wants to be driven - Modelling driving styles in highly automated driving

Svenja Scherer, André Dettmann, Franziska Hartwich, Timo Pech,
Angelika C. Bullinger, Gerd Wanielik
Technische Universität Chemnitz
Interdisciplinary Center for Driver Assistant Systems (I-FAS)
Chemnitz

Abstract — In recent years considerable research has been carried out in the field of autonomous driving as it opens up new opportunities for individual mobility. The increasing level of automation associated with changes in the driver's role from active to passive raises new questions of driver-vehicle-interaction. This research focuses on a fundamental aspect of this change: Is it possible to model a customized automated driving style based on manual driving that makes the driving experience comfortable for the driver? A driving style experienced as comfortable is a basic condition for the wide acceptance of automated driving. Two studies will be presented in an overview. First, a driving simulator study was used to derive driving parameters to provide an automated driving style experienced as comfortable. Some of the thereby found parameters essential for the perceived comfort like acceleration and braking is tested in a subsequent field study on the test track Sachsenring. Preliminary results indicate that driving parameters concerning longitudinal control have a high impact on subjectively perceived comfort.

Keywords—*autonomous driving; highly automated driving; driving style modelling; driver-vehicle-interaction; driving comfort*

INTRODUCTION

The technology of driver-vehicle-interaction is improving quickly. Driver assistance systems in vehicles open up new opportunities by taking over parts of the driving task, i.e. lane-keeping, detecting critical situations (emergency brake assistant, pedestrian warning), or by assisting in complex maneuvers (crossroad assistance). The development in the field of driver assistance is towards a consolidation of these still largely separately operating systems to an autonomous vehicle, which takes over the driving task of the driver. By now, cars drive without any involvement of the driver in the United States [1]. Under the condition that these technologies are successfully implemented, autonomous driving offers new potentials and possibilities for maintaining mobility especially for the elderly and people with disabilities [2].

The technical implementation of autonomous driving is often in the focus of research, such as areas of sensors-actuators [3] or maneuvering [4]. Only a few studies are discussing the

This study was funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF). (Project: DriveMe, FKZ: 16SV7119). The authors are with the Interdisciplinary Center for Driver Assistant Systems (I-FAS, <http://i-fas.de>), Chemnitz University of Technology, 09107 Chemnitz. Corresponding author S. Scherer, phone: +49(0)371-531-31547; fax: +49(0)371-531-831547; e-mail: svenja.scherer@mb.tu-chemnitz.de.

converting role of the driver as he changes from an actively operating driver towards a more passive system monitoring passenger. Thus, little is known about how the driver wants to be driven and how the change in the driver's role is experienced. This knowledge is, however, essential in order to conceive autonomous driving experienced as comfortable to increase the acceptance of this new type of driving.

The main objective of the presented research project was to derive parameters of comfortable driving in a driving simulator study and to review them in a field study. In this context, the relation between manual driving style and the experience of different automated driving styles was investigated. In conclusion, the main research question of the project was, how autonomous driving should be designed so that it is experienced as comfortable.

The research question was addressed in two studies that took place in the driving simulator at the Technische Universität Chemnitz and on the test track Sachsenring. The driving simulator study contained the collection of data (questionnaires and interviews as well as data from a handset control for a continuous assessment of comfort) to determine the subjectively perceived comfort experience during highly automated driving. From those data, evidence can be derived about which driving parameters have relevance for autonomous driving and how these parameters should be integrated into autonomous driving algorithms. In the subsequent field study, individually identified parameters of the longitudinal control in the driving simulator study were tested under natural conditions. Collected data were driving data, questionnaires and interviews as well as data from a handset control. To complete the project, results will be discussed at industry level by conducting an expert workshop. This allows recommendations of preferred driving styles of an autonomous vehicle to make the autonomous trip as comfortable as possible.

This paper is an overview of the two studies including the theoretical background as well as the methodology.

Automation of driving task

The complexity of driver assistance systems and the range of functions have changed over the years. For example, the functions of some driver assistance systems were limited to the stabilization of the vehicle without having a direct and conscious interaction between system and driver, e.g. ABS or ESC. While technology advances, it is possible to warn or inform the driver and allows, in addition, to enhance the safety and the comfort of the driver while driving [5]. With the introduction of the first known adaptive cruise control, also referred to as ACC, for the first time, it was possible to execute parts of the driving task partially in an automated way [6].

The future vision is autonomous driving with a complete takeover of the driving task. Since there are still development needs from driving supported by driver assistance systems to autonomous driving, five levels of automation have been defined by Gasser [7]: driver only, driver assistance, partial automation, high automation, full automation. Current driver assistance systems are still at the first stage of automation with a typical driver-vehicle-interaction. With increasing level of automation the driver's responsibility changes. Therefore, a new way of interaction between driver and vehicle arises as the driver's role changes from active to passive driving. Thus, little is known about how the driver wants to be driven and which situations, driving maneuvers or automated driving styles have an effect on the driver that he perceives as uncomfortable.

Driving comfort

Ammon [8] derived dynamic requirements for autonomous driving from real-driving data with conventional vehicles. Accordingly, lateral and longitudinal accelerations play an important role in the design of an optimized driving style for autonomous vehicles. On motorways low longitudinal and lateral acceleration often occur in moderate speed ranges. Only 0.5% of all detected values on the highway are above 1.7m/s^2 for longitudinal acceleration and 2m/s^2 for lateral acceleration. These limits are indeed essential for the design of an optimized driving style; however, it has not been studied how such a driving style is perceived by the driver, especially if he does not actively drive by himself. For traveling with autonomous vehicles, it is necessary for the driving style to be parameterized appropriately in order to ensure a high market acceptance of the system and this new way of driving, because positive driver experience is a key factor for the success of an automobile [9]. One frequently discussed possibility to ensure the maximum comfort is to choose suitable acceleration values, which should be maintained as low as possible [10, 11].

To model highly automated driving as comfortable as possible for the driver, intra- and interindividual differences between the drivers can be considered with respect to their operating modes [12]. Over the years, drivers develop their own driving styles, which can be divided into different driving types such as aggressive, dynamic or normal/moderate [12, 13]. There is a chance that drivers have different preferences regarding the automated driving style due to their own driving styles. In order to fulfill this aspect, it is necessary to determine relevant driving parameters and their configuration to ensure comfort while driving with an autonomous vehicle.

METHOD OF THE DRIVING SIMULATOR STUDY

To determine the effect of different driving parameters on the driver's experience, a two-tiered simulator study was conducted with drivers of different age groups (for more details on methodology and results: see Hartwich, Beggiano, Dettmann, and Krems [14]).

A. Participants

A total of 40 people, among them 20 younger (25-45 years) and 20 older drivers (> 65 years) participated. The mean age of the younger participants was 27.8 years ($SD = 2.1$), the older participants' mean age was 71.3 years ($SD = 6.0$). All participants were in possession of a driver's license for at least 6 years and had a minimum annual mileage of 1,000 km.

Experimental setup and used material

The study was carried out in the static driving simulator of the Technische Universität Chemnitz. The simulated route included eleven scenarios with a wide range of driving maneuvers (see Table 1 for an overview of selected scenarios). The scenarios were selected on the basis of e.g. Van Mierlo et al. [15] and Kedar-Dongarkar et al. [13]. There are different driving parameters that provide information about a driver's driving style. These parameters include inter alia the acceleration and deceleration of the vehicle, driving at different speeds as well as the driver's activity on the accelerator pedal. The scenarios had been selected so that these driving parameters are covered and therefore statements can be made about personal driving styles.

• TABLE 1: SELECTED SCENARIOS

Scenario	Relevant maneuvers
Rural road: signposted intersections	Speed regulation in indifferent situation
Rural road: traffic light scenario	Braking down to a complete halt Starting up
Rural road: following another vehicle	Lane keeping Maintaining the distance to the preceding vehicle
Motorway: narrow lanes with obstacle	Slowing down behind a moving vehicle

To determine the perceived discomfort between 0 (very comfortable) to 100 (very uncomfortable) during the automated ride, a handset control [16] (Figure 1) connected to the driving simulator was used. With this instrument, maneuvers and situations can be assessed continuously by pressing the lever of the handset control. The more the lever was pressed by the participant, the more uncomfortable he felt. To support the driver in doing so, a visual feedback was integrated in the dashboard.



Figure 1: Handset control for continuous recording of comfort

Test procedure

The driving simulator study was divided into two sessions which each lasted about two hours. At the beginning of the first appointment, the 40 participants passed through the route driving manually with their individual driving styles. This ride was played again as a replay after a short break so that the participants experienced their own driving style as a highly automated drive with no possibility of intervention. Throughout the ride, the participants pressed the lever of the handset control with which they were able to report continuously the level of perceived discomfort. Afterwards, interviews and standardized questionnaires were conducted to get more information about the experienced driving comfort as well as joy of driving. These data were triangulated with the driving data and data from the handset control and thus provided assistance in interpreting the handset control profile over driving time.

The participants were then invited to the second appointment in the driving simulator to compare different automated driving styles in a randomized order. Three automated driving styles were presented, one based on the own driving style and two on other participants' driving styles. Those rides based on 16 existing manual rides from the first appointment in the driving simulator. Only those rides without any driving mistakes or false driving maneuvers (e.g. missing the exit of the highway) were taken into account. Once again, data were recorded via handset control during the ride as well as interviews and questionnaires after the ride.

Derivation of relevant driving parameters and driving comfort

The analysis of the interviews revealed that some driving parameters are apparently more important for the experience as they were mentioned by the participants more frequently. Following a ranking of the most frequently mentioned comfort parameters: longitudinal safety margin was mentioned by 87.5% of all participants, braking by 77.5%, velocity by 55%, acceleration by 27.5%, lane-keeping by 25%, steering by less than 25% as well as indicator usage.

A first analysis of the data from the handset control indicates that demanding situations are motorway accesses, traffic light controlled junctions and situations of following another vehicle. An overview of the results out of the two simulator studies is presented in Hartwich et al. [14]. In a next step, out of the three rated rides in the second simulator session, the main scenarios rated as uncomfortable were split into time frames to further investigate the detailed progress of e.g. acceleration and deceleration curves and the respective subjective handset control curves. Thus, a more specific understanding of the relation between driving parameters and subjective perceived comfort was achieved. Then, all results were applied to the driving style modelling, so that a comfortable automated driving style can be generated in the near future.

As parameters of longitudinal control were highlighted by the participants to describe uncomfortable situations, therefore the focus in the field study was set on the longitudinal control. This includes in particular the parameters *Braking* and *Acceleration*. Especially those parameters were perceived as uncomfortable across various situations over the entire course.

Even though in the driving simulator such important facets of real driving like acceleration and braking forces were absent [6], the importance of these parameters is clear by the frequency of mentioning. To determine exactly how the progress of parameters like acceleration and braking have to be designed in order to be perceived as comfortable, they underwent a reexamination in a field study.

DRIVING STYLE MODELLING

In this section, a possible methodology to model an automated driving style is described. To fulfill the driving task on a planned route the drivers had to execute different driving maneuvers in compliance with the current road conditions and other road users. The execution of the driving maneuvers depended on the driving styles and on the comfort preferences of the drivers of the simulator study. Thus, the detailed modelling of specific driving maneuvers provides the basis for highly automated driving. The automated driving style is here defined as a variation of the parameter set of an automated maneuver which depends on the comfort preferences of the driver.

A. Exemplary analysis results of the driving simulator data

Based on the results of the simulator study mainly the longitudinal maneuvers like acceleration and deceleration including stopping were addressed in the field study. In the following section, the methodology for modelling the automated driving style will be described exemplarily with the specific maneuvers deceleration and stopping. To illustrate the longitudinal control the speed profile over driven meters was used.

Figure shows the speed and acceleration signal over driven meters which were measured in the simulator study for a stopping situation at a traffic light. There are different phases of deceleration before stopping some meters in front of the traffic light. From driving meter 1790 m there is a slight deceleration without pressing the brake pedal, which resulted from the driving resistances. A braking and greater deceleration starts from driving meter 1780 m. This is followed by a plateau with no brake pedal actuation. At 1920 m the driver decelerates the vehicle to standstill 8 m before the stop line of the traffic light. The measurement data of all subjects showed this characteristic switching between different deceleration and rolling phases during stopping maneuvers. The number of phase changes varied depending on the participant and the stopping operations.

The simulator data showed basic parameters which are important for the maneuver description. For the stopping maneuver it is the point of starting the maneuver, the beginning and ending of the different deceleration phases, the value of the deceleration at the begin and end point of the phases, and its gradient such as the point of standstill. To parametrize an algorithm that estimates the automated driving style, the distributions of these parameters can be collected from the simulator data for different comfort preferences of the drivers. For example, the average value of the distance between the beginning of the first braking phase and the stop line of the traffic light situation, shown in Figure 2, is 148 m with a standard deviation of 32 m.

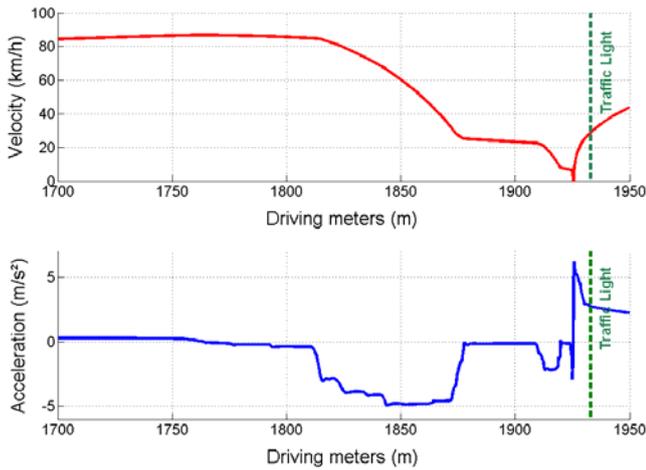


Figure 2: Velocity and longitudinal acceleration signal over driving meters during a stopping maneuver at a traffic light

The signal of the handset control gave hints of the driver’s comfort preferences and it can be used to derive essential parameters of a maneuver. Figure 3 shows the signal of the handset control by one driver for three different automated drives. It can be seen that the driver feels more comfortable with the solid blue velocity signal. The dashed red velocity signal shows a higher speed until the vehicle is stopping than the other vehicles. It also contains no distinct velocity plateau like the other two signals. The dotted green handset control signal has a peak when the vehicle stops. The according velocity signal shows in relation to the other two signals the highest deceleration at this point. These information can help to better understand the driver’s preferred driving style.

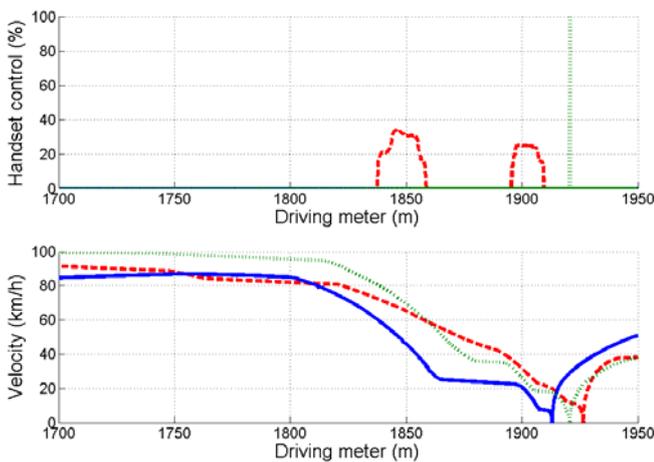


Figure 3: Signals of the handset control by one driver for three different automated drives

The analysis of the simulator data uncovered several conditions which need to be considered for modelling an automated driving style. There were also recommendations for the values of the maneuver parameter set. The results were taken into account in the modelling approach of the automated driving style.

Driving style model approach

To model a highly automated driving style a generic and modular approach has been chosen. The driving profile of a known track is modeled with splines. These consist of several segments with fifth-order polynomials. A segment of such a spline has to be defined by the value of a starting and end point and the values of the first and second derivation at the starting and end point, see Figure 4.

This approach makes it possible to create maneuver dependent velocity profiles in all variations. This also meets the requirements that have been derived from the driving simulator data. Deceleration phases can be defined depending on track meters by inserting additional spline segments. Individual maneuvers can be composed to specify a whole track section. To take the driving style of a driver or group of drivers into account, the spline segment points have to be learned from collected measurement data of this driver or group of drivers. This allows to model individual variations of a driving maneuver.

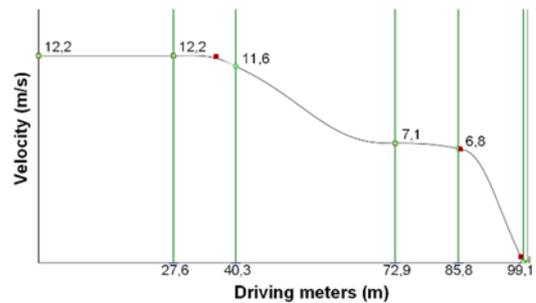


Figure 4: Example of a spline which depicts a stopping maneuver

Methodology to transform manual driving parameters in automatic driving parameters

The theoretical approach to transform manual driving parameters into optimized automated driving parameters is shown in Figure 5.

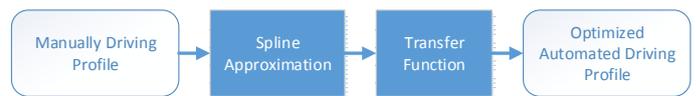


Figure 5: General structure of the transformation of manual driving parameters into optimized automated driving parameters

The splines allow to mathematically approximate and describe the recorded manual driving profile. This step provides the basis for the transfer function, which consists of a set of rules to adapt characteristic features in the driving profile. These were identified by their properties in the spline and adjusted by the defined parameter set of the underlying driving style. For example, the beginning of the deceleration phase during a stopping maneuver at a traffic light can be adapted on the drivers comfort preferences for an automated drive. The parameter set can be determined from the underlying training

data of a special driving style. This methodology was used in the field study.

METHOD OF THE FIELD STUDY

Although the driving simulation offers currently the possibility of experiencing highly automated driving today, important aspects of real driving, such as braking and acceleration forces, are missing. However, these are necessary in order to provide results about how the driver wants to be driven automatically. Therefore, comfort parameters of the longitudinal control identified in the driving simulator were examined in a field study on the test track Sachsenring.

Participants

Within the study, a total of 20 participants, aged between 25 and 45 years, completed a test drive with the instrumented test vehicle BMW i3. Most of them also participated in the driving simulator study and thus already have experience with highly automated driving.

Experimental setup and used material

The study was executed on an enclosed test track. The focus was mainly put on the acceleration and deceleration forces which account for a large part of the longitudinal control. One of the eleven scenarios tested in the simulator study was transferred to real driving: the scenario "braking down to a complete halt and starting up". The course (Figure 6) was passed through multiple times with the test vehicle to obtain several reference values of the participants.



Figure 6: Test track of the field study

The test vehicle was equipped with sensor technology for highly accurate position determination using DGPS and inertial sensors. The recording of the surroundings of the test vehicle was realized with camera and laser sensors. In the vehicle interior two cameras were installed, which were directed to the footwell and the driver. This enabled the recording of the participant's behavior during the experiment. Furthermore, there was an interface to the vehicle bus system for acquisition of relevant metrics. To record the perceived comfort, the same handset control was installed in the test vehicle like in the driving simulator. Once again, a visual feedback was installed in the test vehicle in form of the 0-to-100 scale to inform the driver about the currently entered value of discomfort.

The automation of the longitudinal control of the test vehicle was realized by a modular redundant system to actuate the driving function. Due to the redundancy, the system was completely deactivatable. The automation was controlled and monitored by a security system that was also connected to the vehicle bus. Additionally, sensors were used to detect the driver's overtaking request, e.g. built-up pressure sensors at the

pedals. Thereby, the driver was able to override the system in any situation.

The path planning for the automated longitudinal control was realized by a spline with GPS coordinates of the planned track. Based on this path spline, an overlying velocity spline fulfills the driving task of the maneuver level. The implementation of the braking and acceleration maneuvers were carried out in compliance with the participant's overdriving.

Test procedure

At the start of the study a familiarization ride after being briefed on the test vehicle was conducted. Subsequently, a manual ride under test conditions followed which was then presented as an automated ride analogous to the simulator study. To examine the effects of the driving style model approach, the participants experienced two additional automated rides. Their task was to press the lever of the handset control to assess continuously their subjective discomfort. Following the respective rides, a verbal feedback was given in the form of interviews and questionnaires. Throughout the study, driving data of the vehicle (e.g. acceleration and braking times, acceleration and braking curve) were recorded.

DISCUSSION AND PRACTICAL IMPLICATIONS

Autonomous driving offers, besides an increase of comfort and safety on the roads, a significant potential to provide and maintain personal mobility and independence especially for the elderly and people with disabilities. The change in the active driver's role towards the more and more passive system supervisor raises fundamentally new questions of the driver-vehicle-interaction. This project provides a basic approach to model autonomous driving, which should be a starting point for application-oriented follow-up research. The modelling of a driving style experienced as comfortable in autonomous driving provides a fundamental condition for the acceptance and dissemination of this new technology. Achieving this objective, two studies were executed within the project. Using the driving simulator study, different driving parameters were found which are essential for the perceived comfort while driving autonomously. In particular, parameters of the longitudinal control were mentioned which are similar to those named in [13]. The mostly mentioned cross-situational parameters were braking and acceleration which will be examined once again in a field study with the implementation of a driving style modelling algorithm.

The objective of the driving style modelling is to optimize various driving parameters towards an automated driving style which is experienced as comfortable. The aim was to detect if subjective driving behavior should be considered for autonomous driving and thus a learning mechanism should be incorporated or if a "one fits all" driving style for autonomous vehicles is sufficient. Hereby, the driving style can be optimized towards technical, ecological, economical and traffic variables but it has to be questioned if driving autonomously then still is perceived as comfortable. In the future, acceptance problems can occur as a lot of early adopters of autonomous vehicles will still be used to their own respective driving style and therefore their own comfort perception. While this won't be as problematic for people who never got to drive themselves, the overall comfort

problem in autonomous cars will concern them as well. To resolve this problem, further studies based on the presented methodology need to be conducted. The next step of the project is to complete the field study and evaluate questions regarding perceived comfort in autonomous driving. In order to ensure the understanding of the empirical field out of a stakeholder's view and to have a direct transfer of the results into industry, a workshop will be organized with representatives of the automotive manufacturers, suppliers and research partners.

Verkehrspsychologie. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2008, p. 159-182. G. Eason, B. Noble, and I.N. Sneddon, "On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions," *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, pp. 529-551, April 1955

REFERENCES

- Spiegel Online, Testfahrt in Google Self-Driving Car: Dieses Auto kommt ohne Sie aus. <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/google-auto-unterwegs-im-selbstfahrenden-auto-a-969532.html>, accessed 27.07.2015, 2014.
- D. J. Fagnant, and K. Kockelman, "Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations for capitalizing on self-driven vehicles". *Transportation Research Part A*, 2014, p. 1-20.
- K. Sung, and D. Kwak, "System architecture for autonomous driving with infrastructure sensors," in *Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS)*, 2012 6th International Conference on, vol. 1, no. 6, p. 12-14, Dec. 2012. doi: 10.1109/ICSPCS.2012.6508023
- J. Langenberg, A. Bartels, A. Etemand, „Ansätze für hochautomatisiertes Fahren“, in 30. VDI/VW Gemeinschaftstagung Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit, VDI-Berichte 2223, 2014, p.289-300.
- M. Jentsch, „Eignung von objektiven und subjektiven Daten im Fahr Simulator am Beispiel der Aktiven Gefahrenbremsung - eine vergleichende Untersuchung“, Universitätsverlag Chemnitz, Chemnitz, 2014.
- H. Winner, „Fahrerassistenzsysteme – Stand der Technik und Ausblick“. 1. Autoforum Sachsen – Sachsen wieder Autoland. VDI-Berichte Nr. 1702. VDI Verlag, Düsseldorf, 2002.
- T. M. Gasser „Herausforderung automatischen Fahrens und Forschungsschwerpunkte“, in 6. Tagung Fahrerassistenz. TÜV-Süd Akademie GmbH - München, 2013.
- D. Ammon, „Systemtechnische Überlegung auf dem Weg zum automatisierten Fahren“, in *Der Fahrer im 21. Jahrhundert Bd. VDI-Berichte Nr. 2205*. Braunschweig: VDI Verlag GmbH, 2013, p. 201-212.
- M. A. Tischler, and G. Renner, „Ansatz zur Messung von positivem Fahrerleben. Die Messung von Fahrspaß und Ableitungen für die Fahrzeuggestaltung“, in *Fahrer im 21. Jahrhundert. Human Machine Interface*. VDI-Berichte 2015, (S. 105-117), Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 2007, p.105.
- A. Lange, M. Albert, K. Bengler, M. Maas, and K.-H. Siedersberger, „Automatisiertes Fahren – So komfortabel wie möglich, so dynamisch wie nötig“, in 30. VDI/VW Gemeinschaftstagung Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit, 2014, p. 215-228.
- B. Heißing, M. Ersoy, and S. Gies, *Fahrwerkhandbuch*. Wiesbaden: Vieweg + Teuber, 2011.
- S. Griesche, D. Käthner, and M. Krähling, "CONFORM – A visualization tool and method to classify driving styles in context of highly automated driving", in 30. VDI/VW Gemeinschaftstagung Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit, VDI-Berichte 2223, 2014, p. 101-108.
- G. Kedar-Dongarkar, and M. Das, „Driver Classification for Optimization of Energy Usage in a Vehicle“, *Procedia Computer Science* 8, 2012, p. 388-393.
- F. Hartwich, M. Beggiato, A. Dettmann, and J. F. Krems, Drive me Comfortable: Individual Customized Automated Driving Styles for Younger and Older Drivers. Paper accepted for 8. VDI-Tagung. *Der Fahrer im 21. Jahrhundert*, Braunschweig, 2015, 10.-11.11.2015. In press.
- J. Van Mierlo, G. Maggetto, E. Van de Burgwal and R. Gense, "Driving style and traffic measures-influence on vehicle emissions and fuel consumption", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering* 218:43, 2004, p. 43-50.
- I. Totzke, N. Rauch, E. Ufer, H.-P. Krüger, S. Rothe, „Workload-Management im Verkehr: Prädiktion von Fahrerbeanspruchung durch Informationen in digitalen Karten“, in J. Schade, A. Engeln, (Hrsg.): *Fortschritte der*

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN -----	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Abschlussbericht DriveMe: Fahrstilmodellierung im hochautomatisierten Fahren auf Basis der Fahrer-Fahrzeuginteraktion	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Hartwich, Franziska; Pech, Timo; Schubert, Daniel; Scherer, Svenja; Dettmann; André; Beggiato, Matthias; Wanielik, Gerd; Bullinger-Hoffmann, Angelika C.; Krems, Josef	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.01.2016
	6. Veröffentlichungsdatum -----
	7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) I-FAS der TU Chemnitz Interdisziplinäres Zentrum für Fahrerassistenzsysteme Prof. Dr. Josef Krems Wilhelm-Raabe-Str. 43 09120 Chemnitz	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -----
	10. Förderkennzeichen 16SV7119
	11. Seitenzahl 61
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 48
	14. Tabellen 3
	15. Abbildungen 24
16. Zusätzliche Angaben -----	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -----	

18. Kurzfassung

Hochautomatisiertes Autofahren eröffnet neue Möglichkeiten des Zugangs und Erhalts individueller Mobilität für alle Altersgruppen. Die damit einhergehende Veränderung der Fahrerrolle vom aktiven Lenker zum zunehmend passiven Systemüberwacher wirft jedoch neue Fragen der Mensch-Technik-Interaktion auf. Eine zentrale Rolle dabei spielt der Fahrstil, dem ein entscheidender Einfluss auf das Fahrerleben beim hochautomatisierten Fahren zugesprochen wird.

Im Rahmen des Projektes DriveMe wurde untersucht, wie dieser Fahrstil gestaltet sein sollte, um trotz veränderter Fahrerrolle ein positives Fahrerleben zu erzeugen. Der Fokus lag dabei auf der Frage, inwieweit die Modellierung des hochautomatisierten Fahrstils auf Basis der individuellen manuellen Fahrweise jedes Fahrers zu einem komfortablen Fahrerleben beitragen kann. Um die Frage zu beantworten, wurden eine Fahrstudie und eine Realfahrstudie auf einem Testgelände durchgeführt.

Im Rahmen der zweistufigen Fahrstudie erlebten 20 jüngere (25 – 45 Jahre) und 20 ältere (65 – 85 Jahre) Versuchsteilnehmer eine manuelle Fahrt sowie insgesamt vier unterschiedlich parametrisierte hochautomatisierte Fahrten im Fahrstudienfahrzeug und bewerteten diese im Rahmen von anschließenden Interviews und Fragebogenbefragungen in Bezug auf Fahrkomfort, Fahrspaß und Akzeptanz. Fahrkomfort wurde zudem während jeder hochautomatisierten Fahrt online mit Hilfe eines Handreglers erhoben. In Bezug auf alle abhängigen Variablen zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Altersgruppen: Während eine Orientierung des hochautomatisierten Fahrstils an die individuelle Fahrweise von jüngeren Fahrern als angenehm erlebt wird, führt diese Strategie bei älteren Fahrern nicht zum bestmöglichen Fahrerleben. Diese bevorzugen im hochautomatisierten Kontext stattdessen ebenfalls einen stereotypisch jüngeren (das heißt vor allem schnelleren) Fahrstil als ihren eigenen.

Die Ergebnisse der Fahrstudie wurden im Rahmen der Realfahrstudie für die 20 jüngeren Fahrer unter Feldbedingungen überprüft. Dazu erlebten die Versuchsteilnehmer drei automatisierte Fahrprofile (das eigene, ein „schnelles“, ein „langsameres“) im Versuchsfahrzeug und bewerteten diese während und nach den Fahrten in Bezug auf Fahrkomfort sowie nach den Fahrten bezüglich Akzeptanz. Wie im Fahrstudienfahrzeug erhielten dabei die eigene Fahrt oder der schnelle Fahrstil die besten Bewertungen, während der langsame Fahrstil abgelehnt wurde.

Die Ergebnisse der beiden Studien zeigen, dass hochautomatisiertes Fahren im Mittel grundsätzlich als komfortabel erlebt wird, was sich auch in einer positiven Einstellung potentieller zukünftiger Nutzer gegenüber der Technologie widerspiegelt. Eine Orientierung des hochautomatisierten Fahrstils am individuellen Fahrverhalten jedes Fahrers erwies sich nicht für jede Fahrergruppe als geeignet zur Verbesserung des Fahrerlebens. Beide Altersgruppen bevorzugten einen als zügig, aber vorausschauend beschriebenen Fahrstil, welcher dem extrahierten schnelleren Fahrprofil beziehungsweise der stereotypischen Fahrweise der jüngeren Altersgruppe entsprach. Auf Basis der Ergebnisse konnten zudem neue Forschungsfragen, beispielsweise nach dem Einfluss von Nebenaufgaben oder Kontextfaktoren auf das Fahrerleben, abgeleitet und somit eine Roadmap für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte auf dem Gebiet des Fahrerlebens beim hochautomatisierten Fahren skizziert werden.

19. Schlagwörter

Automatisiertes Fahren, Komfort erleben, Fahrkomfort, Fahrstil

20. Verlag

21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN -----	2. type of document (e.g. report, publication) report
3. title Final report DriveMe: Modelling driving styles in highly automated driving based on the driver-vehicle-interaction	
4. author(s) (family name, first name(s)) Hartwich, Franziska; Pech, Timo; Schubert, Daniel; Scherer, Svenja; Dettmann; André; Beggiato, Matthias; Wanielik, Gerd; Bullinger-Hoffmann, Angelika C.; Krems, Josef	5. end of project 31.01.2016 6. publication date ----- 7. form of publication report
8. performing organization(s) (name, address) I-FAS der TU Chemnitz Interdisziplinäres Zentrum für Fahrerassistenzsysteme Prof. Dr. Josef Krems Wilhelm-Raabe-Str. 43 09120 Chemnitz	9. originator's report no. ----- 10. reference no. 16SV7119 11. no. of pages 61
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 48 14. no. of tables 3 15. no. of figures 24
16. supplementary notes -----	
17. presented at (title, place, date) -----	

18. abstract

Highly automated driving opens up new opportunities to access and obtain individual mobility for all ages. But the associated change of the driver's role from the active driver to an increasingly passive system supervisor raises new questions of human-machine-interaction. One essential aspect in this context is driving style, as it is expected to have a large impact on drivers' experience of highly automated driving.

Within the project DriveMe, it was investigated how this driving style could be designed in order to generate a positive drivers' experience. The main question was if basing the highly automated driving style on the individual manual driving style of each driver can contribute to a comfortable drivers' experience. To answer this question, a driving simulator study and a field study on a test track were conducted.

Within the two-stage driving simulator study, 20 younger (25 – 45 years) and 20 older (65 – 85 years) participants experienced one manual drive and four differently parameterized highly automated drives and rated them in terms of driving comfort, driving joy, and acceptance via interviews and questionnaires after each drive. In addition, driving comfort was assessed online during each highly automated drive using a handset control. Considerable differences between the age groups could be found in relation to all dependent variables: While a highly automated driving style based on each driver's individual manual driving style is perceived as pleasant by younger drivers, it does not result in the optimum drivers' experience for older drivers. In contrast, this age group prefers a highly automated driving style that is more stereotypical for younger drivers (that is primarily a faster driving style).

The results of the driving simulator study were reviewed for the 20 younger drivers under realistic driving conditions within the field study. Participants experienced three automated driving profiles (one's own, a "fast" one, a "slow" one) in the test vehicle and assessed them during and after each drive in terms of driving comfort as well as after each drive in terms of acceptance. Comparable to the results of the driving simulator study, the own as well as the fast driving style achieved the best ratings, whereas the slow driving style was rejected.

Results of both studies show that highly automated driving is experienced as comfortable, which is also reflected by a positive attitude of potential future users towards this technology. An orientation of the highly automated driving style towards the individual driving style of each driver did not turn out as the most suitable strategy to improve drivers' experience of each group of drivers. Both of the age groups preferred a driving style described as speedy but forward-looking, which corresponded to the extracted faster driving profile or the stereotypical driving style of the younger age group. Based on these results, new research questions were generated, for example regarding the influence of secondary tasks or contextual factors on drivers' experience, and thus a roadmap for future research and development projects on drivers' experience in the context of highly automated driving could be outlined.

19. keywords

automated driving, comfort, driving style

20. publisher

21. price
