



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

TUM School of Engineering and Design

Expertenbewertungen als Absicherungsmethodik zum Nutzererlebnis
beim automatisierten Fahren

Kamil L. Omozik

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Engineering and Design der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr. Petra Mela

Prüfer*innen der Dissertation:

1. Prof. Dr. Klaus Bengler
2. Prof. Dr. Sarah Diefenbach

Die Dissertation wurde am 06.04.2022 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die TUM School of Engineering and Design am 22.09.2022 angenommen.

***„Das erste Prinzip lautet, dass man sich selbst nicht täuschen darf,
denn man selbst ist die Person, die man am leichtesten täuschen kann.“***

Richard P. Feynman

Danksagung

Liebe Leserin, lieber Leser,

die Fertigstellung dieser Arbeit wäre nicht möglich gewesen ohne die Unterstützung und den Beiträgen vieler Menschen in meinem Leben. Diesen Menschen möchte ich hiermit Danke sagen.

Zunächst möchte ich mich bei meinem Doktorvater Professor Klaus Bengler bedanken. Ich wusste Ihr offenes Ohr und Ihr Feedback, Ihre Motivation und Geduld sowie Ihre Positivität immer zu schätzen und danke Ihnen für Ihre Betreuung. Ich möchte mich auch bei Professorin Sarah Diefenbach bedanken. Danke Dir, dass Du mir bereits in der Anfangszeit meiner Promotion Gehör geschenkt und mich bei meinen ersten Schritten im Bereich der User Experience beraten hast.

Vielen Dank weiterhin an meine Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl für Ergonomie. Besonders danke ich Jonas Schmidler, Moritz Körber, Jonas Radlmayr, Anna Feldhüter, Jakob Reinhardt und Lorenz Prasch für die warmherzige Aufnahme, den wertvollen Einblick und den Austausch.

Ein ganz besonderer Dank geht an meine Kolleginnen und Kollegen bei BMW für das ausgesprochen kollegiale Umfeld. Mitverantwortlich für die erfolgreiche Promotionszeit sind hierbei: Michael Festner, Florian Fischer, Stefan Scheller, Steven Hofmann, Martin Liebich und Joost Venrooij durch die Zusammenarbeit und Unterstützung in meinem Probandenstudien. Alle Kolleginnen und Kollegen aus meinem Team der FAS-Erprobung nicht nur durch die Teilnahme und Mitwirkung an meinen Studien. Ulrich Mersch durch die Förderung und Forderung. Und nicht zuletzt meine Doktorandenkollegen Oliver Jarosch, Yannick Forster, Philipp Ring, Christian Gorges und Friedrich Schweizer durch Austausch, Rat und positive Stimmung.

Hierbei geht auch mein Dank an die PraktikantInnen und StudentInnen, die ich während meiner Promotion betreuen durfte und die mich tatkräftig in meiner Arbeit unterstützt haben. Im Bereich der Probandenstudien Isabella Kuntermann, Stefanie Kosel, Susanna Suchan und Jennifer Schmid. Im Bereich der Softwareunterstützung Christian Furtner, Martin Kellner, Aykut Korkmaz, Yuqiu Ge und Deepak Tojarla. Ein weiteres Dankeschön geht an Chantal Himmels für Korrekturlesen und Kommentieren.

Danke an Thomas Müller, der für meine Einstellung als Doktorand verantwortlich war, als mein Betreuer begonnen hat und mittlerweile sehr geschätzter Kollege und Freund geworden ist.

Mein größter Dank gilt jedoch meiner Frau und Familie. Meine Eltern haben mir es durch ihren Einsatz und ihr Vertrauen ermöglicht hier zu sitzen und diese Arbeit schreiben zu dürfen. Meine Frau hat mich auch in anstrengenden Phasen auf alle erdenkliche Weise unterstützt und bestärkt. Danke Dir für Deine Geduld, Deinen Verzicht und Deine Fürsorge.

Danke!

Kurzfassung

Die menschenzentrierte Entwicklung richtet ihren Fokus auf die Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzer, die das Produkt später verwenden. Werden diese bereits in frühen Entwicklungsphasen einbezogen, kann das Produkt und das Nutzererlebnis optimiert werden. Dieses frühe Entwicklungsstadium stellt jedoch eine Herausforderung dar, wenn Innovationen entwickelt werden und somit die Erwartungshaltung potentieller Nutzer unklar ist oder noch keine vergleichbaren Produkte verfügbar sind. So stellt sich bei der Einführung automatisierter Fahrfunktionen und dem damit einhergehenden Paradigmenwechsel die Frage, wie man ein positives Nutzererlebnis entwickeln und die späteren Nutzer an dieser Entwicklung beteiligen kann. Die Forschungslücke, die sich in dieser Phase ergibt, besteht aus der unsicheren Erwartungshaltung von Nutzern und dem Fehlen von frei verfügbaren automatisierten Fahrzeugen.

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Absicherung des Nutzererlebnisses beim automatisierten Fahren leisten, um diese Lücke zu schließen. Sie untersucht die Methode der Expertenbewertung im Zusammenhang mit einem automatisierten Fahrerlebnis sowie den Einsatz unterschiedlicher Versuchsumgebungen, wie Wizard-of-Oz-Fahrzeugen oder Fahrsimulatoren. Hierfür wurde in drei Studien erforscht welche Faktoren die Erlebnisbewertung beeinflussen, ob die Erlebnisbewertung von Experten mit der von laienhaften Nutzern übereinstimmt und wie sich diese zwischen den Versuchsumgebungen Wizard-of-Oz und Fahrsimulator unterscheiden. Zusammenfassend wird darüber hinaus auf die Relevanz des Zeitpunktes bei der Erlebnisbewertung sowie die Auswahl automatisierter Fahrmanöver eingegangen.

Abstract

Human-centered design puts its focus on the needs and requirements of the users who will later use the product. Once these are considered in the early design phase, the product and the user experience can be optimized. However, this early design stage poses a challenge when innovations are being developed and the expectations of potential users are unclear or comparable products are not yet available. For example, the introduction of automated driving functions and the accompanying paradigm shift raises the question of how to develop a positive user experience and involve subsequent users in this development. The research gap that arises at this stage is due to the uncertain expectations of users and the lack of freely available automated vehicles.

This thesis aims to contribute to the validation of the user experience in automated driving in order to close this gap. It investigates the method of expert reviews in the context of an automated driving experience as well as the use of different test environments, such as Wizard-of-Oz vehicles or driving simulators. For this purpose, three studies were conducted to investigate which factors influence the experience evaluation, whether the experience evaluation of experts corresponds to that of lay users, and how this differs between the Wizard-of-Oz and driving simulator test environments. In summary, the relevance of timing in the experience evaluation as well as the selection of automated driving maneuvers will be discussed.

1.	EINLEITUNG	5
1.1	Motivation	5
1.2	Menschenzentrierte Entwicklung.....	7
1.3	Automatisiertes Fahren	9
1.4	Struktur der Arbeit.....	12
1.4.1	Inhaltlicher Aufbau.....	12
1.4.2	Methodenübersicht.....	13
2.	AUTOMATISIERTES FAHREN ABSICHERN	14
2.1	Grundlagen	15
2.2	Absicherungsmethoden	16
2.3	Absicherung im Realfahrzeug und -verkehr	18
2.3.1	Wizard-of-Oz – Die Methodik.....	19
2.3.2	Wizard-of-Oz im Fond	32
2.4	Absicherung im Simulator	36
2.4.1	Aufbau und Funktionalität.....	37
2.4.2	Einsatzmöglichkeiten und Limitation eines Fahrsimulators	38
2.4.3	Anwendung der Fahrsimulation	40
3.	EXPERTENBEWERTUNG DES NUTZERERLEBNISSES BEIM AUTOMATISIERTEN FAHREN	41
3.1	Nutzererlebnis.....	41
3.1.1	Definition – was ist Nutzererlebnis?.....	41
3.1.2	Einflüsse auf das Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren	44
3.1.3	Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren messen	45
3.1.4	Anwendung in dieser Arbeit.....	46
3.2	Expertenbewertung	48
3.2.1	Definition von Expertise.....	48

INHALT

3.2.2	Methode der Expertenbewertung.....	50
3.2.3	Anwendung in Wissenschaft und Industrie	52
3.2.4	Limitationen der Expertenbewertung	53
3.2.5	Anwendung in dieser Arbeit	55
4.	VERSUCHSREIHEN UND ERGEBNISSE.....	58
4.1	Statistische Auswertung	58
4.2	Studie 1: Bewertung der Fahrdynamik beim automatisierten Fahren im Wizard-of-Oz.....	61
4.2.1	Untersuchungsziel	61
4.2.2	Methode	62
4.2.3	Versuchsdurchführung.....	69
4.2.4	Versuchsauswertung	70
4.2.5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für weitere Versuchsreihen	76
4.3	Studie 2: Bewertung der Fahrstrategie beim automatisierten Fahren im Wizard-of-Oz.....	78
4.3.1	Untersuchungsziel	78
4.3.2	Methode	79
4.3.3	Versuchsdurchführung.....	86
4.3.4	Versuchsauswertung	87
4.3.5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für weitere Versuchsreihen	97
4.4	Studie 3: Bewertung der Fahrstrategie beim automatisierten Fahren im Fahrsimulator	101
4.4.1	Untersuchungsziel	102
4.4.2	Methode	103
4.4.3	Versuchsdurchführung.....	106
4.4.4	Versuchsauswertung	106
4.4.5	Zusammenfassung der Zwischenergebnisse	116
4.5	Vergleich Wizard-of-Oz und Fahrsimulator	118
4.5.1	Fahrdynamik.....	118
4.5.2	Wahrnehmung und Erlebnisbewertung der automatisierten Fahrmanöver.....	119
4.5.3	Gesamtbewertung der automatisierten Fahrt.....	125

4.5.4	Zusammenfassung der Versuchsreihe und Schlussfolgerungen	128
5.	ZUSAMMENFASSUNG, DISKUSSION UND AUSBLICK	131
5.1	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	131
5.2	Gestaltungsempfehlungen	139
5.3	Weiterführender Forschungsbedarf.....	140
6.	LITERATURVERZEICHNIS	141
7.	THEMATISCH RELEVANTE BETREUTE ABSCHLUSSARBEITEN	155
8.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	157
9.	TABELLENVERZEICHNIS.....	161
	ANHANG A: STUDIE 1.....	163
	ANHANG B: STUDIE 2	170
	ANHANG C: STUDIE 3	179

1. Einleitung

Der „Kluge-Hans“-Effekt

Ein Pferd namens „der kluge Hans“ wurde 1904 bekannt, weil es Algebra und das Alphabet zu beherrschen schien. Es reagierte auf die Rechenanweisungen seines Besitzers und verständigte sich mit Klopfzeichen der rechten vorderen Hufe. Eine Kommission stellte jedoch später fest, dass „der kluge Hans“ weder rechnen noch buchstabieren, dafür aber ausgezeichnet beobachten konnte. Das Pferd hatte gelernt auf kleinste Veränderungen in der Mimik seines Trainers zu reagieren, zum richtigen Zeitpunkt seine Klopfzeichen zu beenden und seine Belohnung abzuholen. So beeinflusste der Fragensteller unbewusst und scheinbar unsichtbar den Ausgang des tierischen Rechenexperiments (Gundlach, 2006). In der Sozialforschung wird der „Kluge-Hans-Effekt“ auch als Rosenthal- oder Versuchsleitereffekt bezeichnet. Bei dieser Störvariable beeinflusst ein Versuchsleiter unbewusst das Experiment durch seine Erwartungshaltung und Reaktion (Döring & Bortz, 2016; Frühbeis, 2013). Neben Blind-Versuchen können standardisierte Abläufe helfen, um diesen Effekt zu reduzieren oder auszuschließen.

Im Laufe der vorliegenden Arbeit wird die Relevanz dieser Störvariable bei der Forschung in frühen Entwicklungsphasen deutlich. Untersuchungen zum automatisierten Fahren verlangen in diesen Phasen oftmals den Einsatz von Versuchsfahrern und Probandenstudien, die jedoch stets objektiv, reliabel und valide sein sollen. Wie generell in der empirischen Forschung ist eine Untersuchungs- und Absicherungsmethodik somit nur dann sinnvoll, wenn sie diese drei Gütekriterien erfüllt und der „Kluge-Hans-Effekt“ so gering wie möglich gehalten werden kann.

1.1 Motivation

„humans are *consumers* of automation“ (Parasuraman & Riley, 1997)

Automatisierung ersetzt nach Parasuraman und Riley keine menschliche Handlung, sondern ergänzt (und verändert dabei) die Arbeit des Menschen. Menschen sind somit in der heutigen Zeit Konsumenten der Automation geworden. Dies betrifft unter anderem die Automatisierung am Arbeitsplatz, im Haushalt sowie beim Autofahren. Warum sind jedoch Untersuchungen zum automatisierten Fahren essentiell? Und was muss bei diesen beachtet werden?

Die menschenzentrierte Entwicklung steht einer technikzentrierten Entwicklung gegenüber, indem anstelle von technischen Rahmenbedingungen menschliche Anforderungen verfolgt werden. Ziel in der menschenzentrierten Entwicklung ist es frühzeitig diese Wünsche und Erwartungen der Nutzer zu identifizieren, um somit interaktive Systeme nutzerfreundlich zu gestalten. Das bedeutet unter anderem das Wohlbefinden des Nutzers zu steigern oder Stress zu vermeiden. Entsprechend müssen Anforderungen an das Produkt erfasst und darauf basierend die Funktionen konzipiert werden. Anforderungen können hierbei die Erwartungshaltung potentieller Nutzer sein, was diese mit dem Produkt erreichen möchten,

oder der Wunsch, was das Produkt für den Nutzer tun soll (Weißgerber, 2015). So gesehen fordert eine menschenzentrierte Entwicklung eine stetige Einbindung potentieller Nutzer in den Entwicklungsprozess mit dem Fokus der Erfassung ihrer Wünsche und Erwartungen. Nutzer können durch ihre Mitwirkung am Gestaltungsprozess als Quelle für relevante Daten oder durch ihre Bewertung von Gestaltungslösungen involviert werden (Bubb, 2015b; DIN EN ISO 9241-210).

Vollrath (2015a) sieht das Sammeln von Anforderungen als Basis für einen erfolgreichen Entwicklungsprozess und als ersten Schritt seiner fünfstufigen Beschreibung des Lebenszyklus eines Produktes:

1. Anforderungsanalyse
2. Iteratives Design
3. Implementierung, Produktion und Bewertung
4. Systemoperation und Wartung
5. Entsorgung

Ausprobieren und bewerten

Sind die Anforderungen geklärt und ein Prototyp aufgebaut, wird dieser nun vom Nutzer „ausprobiert und bewertet“ (Vollrath, 2015a, S. 55), um mit den Beobachtungen die Funktionen iterativ zu verbessern und weiterzuentwickeln. Hierbei gilt es das System subjektiv zu bewerten und das Verhalten und die Reaktion der Nutzer zu beobachten (Vollrath, 2015a). In diesem Prozess ist stets ein Entwickler notwendig, der nicht nur als „Übersetzer der Ergebnisse aus Nutzungskontextanalysen“ dient, um möglichst passende Produkte zu gestalten (Hassenzahl, Eckoldt & Thielsch, 2009). Er soll zugleich auch die Entwicklung und Gestaltung mit seiner Erfahrung und Expertise leiten und ein gewünschtes Erlebnis dementsprechend empfehlen oder sogar vorschreiben.

Was passiert aber, wenn eine neue Technologie noch nicht erlebbar ist oder man sich den Mehrwert nur vorstellen kann? 1984 war dies beispielsweise bei der Einführung der SMS oder 1990 bei der Vorstellung des Internets der Fall. „Der menschenzentrierte Ansatz besteht dann darin, einerseits die konkrete Umsetzung dieser Funktion mit den Nutzern zu erarbeiten, andererseits den Zugang dazu, d.h. die Bedienung und damit die Anforderung an die Mensch-Maschine-Schnittstelle“ (Vollrath, 2015a, S. 53-54). Auf letzteres soll in diesem Zuge auf die Arbeit von den Autoren Forster, Hergeth, Naujoks, Beggiano und Krems (2019) verwiesen werden, die in einem menschenzentrierten Ansatz die Mensch-Maschine-Schnittstelle im Fokus haben.

Die Frage bei Innovation bleibt jedoch, ob und wie man zukünftige Nutzer in den Entwicklungsprozess einbinden kann, wenn sich diese das spätere Produkt oder den Mehrwert nur vorstellen können. Erschwert wird diese Einbindung, wenn es noch keine Nutzererwartung und keinen Wunsch nach dieser Technologie gibt oder dieser noch nicht konkretisiert ist.

Neuartige Innovationen & fehlende Nutzererwartung

Um die Entwicklung von neuen Technologien zu beschleunigen, können nach Vollrath (2015a) Systemfunktionen von einem Versuchsleiter reproduziert werden, wenn diese nicht technisch realisiert werden können. Ebenso wird die so genannte Wizard-of-Oz-Technik genutzt, wenn Funktionen und Konzepte „technisch und zeitlich nur sehr aufwendig herzustellen wären“ (Vollrath, 2015a, S. 57). Da automatisiert fahrende Fahrzeuge Potentiale sowie Risiken bezüglich der Verkehrssicherheit bergen (Winkle, 2015), sollte hier möglichst frühzeitig geprüft werden, wie einerseits der Nutzer mit solchen Systemen umgeht

(Vollrath, 2015a) und andererseits, welche Aspekte einer automatisierten Fahrt Einfluss auf ein positives Nutzererlebnis haben.

Bei fehlenden oder unsicheren Nutzererwartungen kann auf die Methodik der Expertenbewertung zurückgegriffen werden (Bubb, Bengler, Lange, Aringer-Walch & Trübswetter, 2015). Dies kann sinnvoll sein, wenn Experimente unpraktisch, zu teuer oder nicht möglich sind. Obwohl Expertenbewertungen im Kontext von Risikoeinschätzungen sowie statistischen oder politischen Diskussionen bereits zu einem gut etablierten Instrument geworden sind (Benoit & Wiesehomeier, 2009; Simola, Mengolini & Bolado-Lavin, 2005), scheint ihre Anwendung im Bereich des automatisierten Fahrens noch eingeschränkt eingesetzt zu werden. Hier beschränkt sich aktuell ihr Einsatz auf die Beurteilung der Benutzerfreundlichkeit der Mensch-Maschine-Schnittstelle sowie der Kritikalität bei Übernahme-situationen (Galaske, 2017; Naujoks, Hergeth, Keinath, Wiedemann & Schömig, 2019; Naujoks, Wiedemann, Schömig, Jarosch & Gold, 2018)

Diese Arbeit soll die Wertigkeit von Expertenbewertung von automatisierten Fahrfunktionen feststellen und die Lücke in der frühen menschenzentrierten Entwicklung schließen. Die Herausforderung hierbei ist das frühe Entwicklungsstadium, die unsichere Erwartungshaltung von Nutzern und das Fehlen von frei verfügbaren automatisierten Fahrzeugen. Somit soll in Studien erforscht werden, ob die Erwartungshaltung von Experten mit der von potentiellen Nutzern übereinstimmt und ob dies mit Hilfe von Versuchskonzepten wie dem Wizard-of-Oz-Ansatz untersucht werden kann.

1.2 Menschenzentrierte Entwicklung

Die Entwicklung neuer Fahrerassistenzsysteme wird oft durch den Fortschritt und die Verfügbarkeit von Hardware (wie Sensorik und Prozessoren) getrieben. Hierbei stehen besonders technische und finanzielle Aspekte im Vordergrund. Um jedoch positive Nutzererlebnisse zu realisieren, muss dieser technikzentrierte Ansatz erweitert werden (Knobel, 2013; Vollrath, 2015a). Dieser alternative Perspektive wurde beispielsweise in Projekten wie *Prometheus* oder *URBAN* umgesetzt (Ahlberg et al., 2008; Bengler, Pütz, Purucker, Götze & Färber, 2015). In dieser menschenzentrierten Entwicklung liegt der Fokus auf den Wünschen und Anforderungen der Nutzer, die das Produkt später verwenden. Werden diese bereits in frühen Projektphasen einbezogen, kann das Produkt und das Nutzererlebnis verbessert werden (Roßner, Bernhagen & Bullinger, 2020). Der Begriff der Nutzerzentrierung wird hierbei verwendet, wenn die Evaluierung (Prüfung und Bewertung) eines Produktes auch aus der Perspektive der Nutzer erfolgt. Alternativ kann der Begriff der menschenzentrierten Entwicklung verwendet werden, um zu betonen, dass das Produkt auch Einfluss auf Menschen haben kann, die das Produkt nicht aktiv nutzen (DIN EN ISO 9241-210).

Angelehnt an Richter und Flückiger (2016) können die Prinzipien einer menschenzentrierten Entwicklung wie folgt gegliedert werden:

Wir alle sind Nutzer.

„Interaktive Produkte begleiten uns“ (Richter & Flückiger, 2016, S. 2) und sind Teil unseres Alltags geworden. Menschen begegnen in fast allen Teilbereichen ihres beruflichen und privaten Lebens Produkten, mit denen sie interagieren und von denen ihr Handeln abhängt. Dabei kann sich ein positives oder negatives Nutzererlebnis entwickeln, in Erinnerung bleiben sowie Einfluss auf die weitere Nutzung und Nutzungsabsicht haben.

Die Sichtweise des Nutzers einnehmen.

Spezialisten, die diese Produkte entwickeln und testen, verlieren oftmals ihre unbedarfte Sichtweise und den Einblick in die alltägliche Anwendung. Um brauchbare und ansprechende Produkte zu gestalten ist es somit essentiell systematisch die Perspektive des Nutzers einzunehmen und miteinzubeziehen.

Es gibt nicht „den“ Nutzer.

Um nicht an den Bedürfnissen der Menschen vorbei zu entwickeln, muss man die spätere Nutzergruppe identifizieren. Wenn unklar ist, wer das neuartige Produkt später nutzt, können Wünsche und Anforderungen an das Produkt nicht priorisiert werden. Ein positives Nutzererlebnis für alle Menschen zu schaffen und dabei alle Anforderungen zu berücksichtigen, scheint utopisch.

Weitere Gründe für den stärkeren Fokus auf eine menschenzentrierte Entwicklung können der Wunsch des Nutzers nach einer größtmöglichen Identifizierung mit seinem Produkt, ein steigender Wettbewerbsdruck für die Hersteller und immer dynamischere Entwicklung neuer Technologien sein (Strasser, 2012). Zuletzt hängen die Kosten zur Behebung eines Problems bei der Entwicklung der Benutzerfreundlichkeit von der Phase ab, in der man das Problem entdeckt. So kostet die Behebung in der frühen Konzeptphase einen US-Dollar, 10 US-Dollar in der Entwicklung, 100 US-Dollar in einem Prototyp und 1000 US-Dollar nach dem Verkaufsstart (Hartson & Pyla, 2012).

Obwohl eine frühe und entwicklungsbegleitende Konzeptbewertung Kosten spart und wertvolle Erkenntnisse liefert, die in die Hardware- und Funktionsentwicklung einfließen können, befinden sich Bewertungsmöglichkeiten sowie Tests und die Absicherung traditionell erst spät im Entwicklungsprozess (Schmidt, G., Kiss, Babbel & Galla, 2008). Da die Zeit für Test und Absicherung dann sehr begrenzt und teuer ist, sind Methoden und Hilfsmittel in einer frühen Entwicklungsphase notwendig, um Kundenrückmeldungen zu sammeln. Aus diesem Grund sehen Schomerus, Flemisch, Kelsch, Schieben und Schmutzsch (2006) die Wizard-of-Oz-Methode als Schlüsseltechnik für die dynamische Balance aus technik- und menschenzentriertem Vorgehen. Hiermit können im Gegensatz zu Feedback-Schleifen, bei denen späte Bewertungen an die Entwicklung zurückgemeldet werden, frühe „Feedforward“-Bewertungen kostengünstiger und effektiver Einfluss auf den weiteren Prozess Einfluss nehmen. Sie beschreiben diesen menschenzentrierten Entwicklungsprozess als „Bogen von der Erwartungshaltung der Nutzer über kreative Gestaltungsphasen hin zu zunehmend strukturierten Aktivitäten bis zum realisierbaren Prototypen“. Abbildung 1-1 zeigt diese beiden Möglichkeiten, wie Produktbewertungen im Entwicklungsprozess eingebunden werden können.

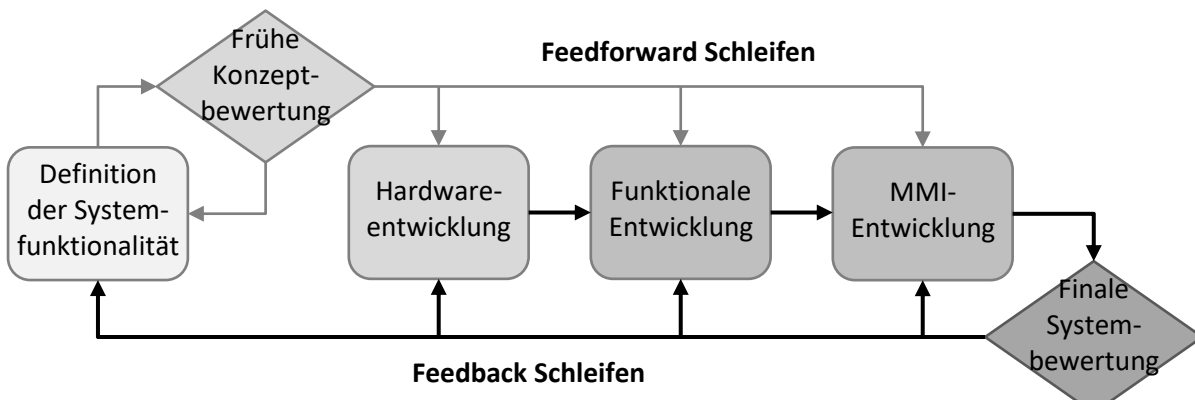


Abbildung 1-1: Entwicklungsprozess von Fahrerassistenzsystemen nach Schmidt, G., Kiss, Babbel und Galla (2008)

1.3 Automatisiertes Fahren

Wie eben erläutert werden Assistenzsysteme und automatisierte Fahrfunktionen hauptsächlich aus einer innovations- und technologiezentrierten Perspektive entwickelt. Automobilhersteller konzentrieren sich naturgemäß auf technische Fragen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten, während menschliche Faktoren wie Akzeptanz und Vertrauen im Entwicklungsprozess weniger im Fokus sind (Frison et al., 2017). Da Menschen jedoch die Nutzer der Automatisierung im Fahrzeug sind, gilt es den Fokus zu erweitern.

Parasuraman, Sheridan und Wickens (2000) definieren Automation als Gerät oder System, das eine Funktion (teilweise oder vollständig) ausführt, die zuvor von einem menschlichen Betreiber (teilweise oder vollständig) durchgeführt wurde – oder möglicherweise durchgeführt werden kann. Im Kontext des automatisierten Fahrens sehen Campbell et al. (2018) und die zuständige U.S. Behörde NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) Automation als System, das eine bestimmte Kombination an Fahrfunktionen für den Fahrer ausführt (beispielsweise im Stau den Abstand zum Vorderfahrzeug regulieren, das Fahrzeug in der Spur halten oder einparken).

Die Einführung des automatisierten Fahrens kann jedoch nicht binär als vorhanden oder nicht vorhanden angesehen werden, sondern ist charakterisiert durch einen allmählichen Übergang vom manuellen Betrieb ohne Unterstützung hin zu einer vollständigen Automatisierung, bei der menschliches Eingreifen nicht notwendig oder gar nicht möglich ist (Forster, 2020). Die wohl meistbenutzte Definition für diese Automationsstufen wurde von der Society of Automotive Engineers (SAE) entwickelt. Die U.S. Automobilorganisation bietet eine technikzentrierte Beschreibung für Automationsfunktionen im Fahrzeug, die dazugehörigen Automationsstufen und ihre Systemgrenzen. Abbildung 1-2 zeigt die überarbeitete Unterscheidung nach manuellem (Level 0), assistiertem (Level 1), teilautomatisiertem (Level 2), bedingt automatisiertem (Level 3), hochautomatisiertem (Level 4) und vollautomatisiertem Fahren (Level 5; (SAE International, 2018a). Hierbei werden die Fahraufgaben und die Verantwortung stufenweise vom Menschen auf das System übertragen. So können nach dem rein manuellen Level 0 die folgenden Automationsstufen aus Sicht des Menschen wie folgt beschrieben werden (Forster, 2020):

1. Lenken oder beschleunigen
2. Lenken und beschleunigen
3. Überwachung der korrekten Funktion
4. Darstellen einer Rückfallebene
5. Unbegrenzter Betrieb

Die Technologie des automatisierten Fahrens schreitet nicht geradlinig voran (Feigenbaum, 2018).

Gleichzeitig kritisieren Experten dies als willkürliche Ebenen für eine Technologie, die nicht planmäßig und ordnungsgemäß entwickelt werden kann (Templeton, 2017). Automatisierte Funktionen können aufgrund des großen Entwicklungssprungs von Stufe 2 zu 3 nicht geradlinig weiterentwickelt werden, da unterschiedliche Sensoren verstärkt zusammenarbeiten und fusioniert werden müssen. So haben automatisierte Fahrsysteme Schwierigkeiten, die Überwachung der Umgebung zu beherrschen und die durchgehende Fahrverantwortung zu gewährleisten. So diskutieren Parasuraman und Riley (1997), ob Menschen durch eine Automation vollständig ersetzt werden können, da Menschen flexibler, anpassungsfähiger und kreativer sind als automatisierte Systeme. Sie können sich dadurch besser auf geänderte oder unvorher-

gesehene Bedingungen einstellen. Speziell ab der dritten Automationsstufe und dem Übergang der Fahrerantwortung stehen Entwickler vor der Herausforderung die Systeme adaptierbar und flexibel reagieren zu lassen, da sie in der Entwicklungsphase nicht alles vorhersehen können.

Dieser ungleiche Fortschritt veranlasst Kritiker dazu alternative Taxonomien vorzuschlagen, die sich vielmehr auf das menschliche Erlebnis fokussieren. Genannt wird hierbei oftmals eine dreistufige (Parasuraman et al., 2000) oder vierstufige Beschreibung (hands free, eyes free, automatic, autonomous; (Feigenbaum, 2018). Aktuelle Forschung zeigt auf, dass in den mentalen Modellen der Menschen nur ein 3-stufiges Modell von Automation vorliegt (Homans, Radlmayr & Bengler, 2019), was zu Problemen bei der Zuordnung und Verwirrung bei der Verwendung der technikzentrierten SAE-Automationsstufen führen kann. Bereits in den 90er Jahren hat Rosengren (1995) die drei Automationsstufen „beratend, automatisiert und vollautomatisiert“ vorgeschlagen. Wenn Nutzer mit automatisierten Fahrfunktionen auf eine sichere Art und Weise interagieren sollen und dabei ein positives Nutzererlebnis entstehen soll, ist es essentiell, dass ihr mentales Modell und ihre Erwartungshaltung zu den Funktionen passen (Homans et al., 2019). Auch die SAE International (2018b) selbst versucht dieser Verwirrung entgegenzuwirken, die durch die verwendeten Begriffe herrschte, indem sie die überarbeitete Definition mit nutzerfreundlicheren Begriffen und Beispielen (Abbildung 1-2) anbietet.

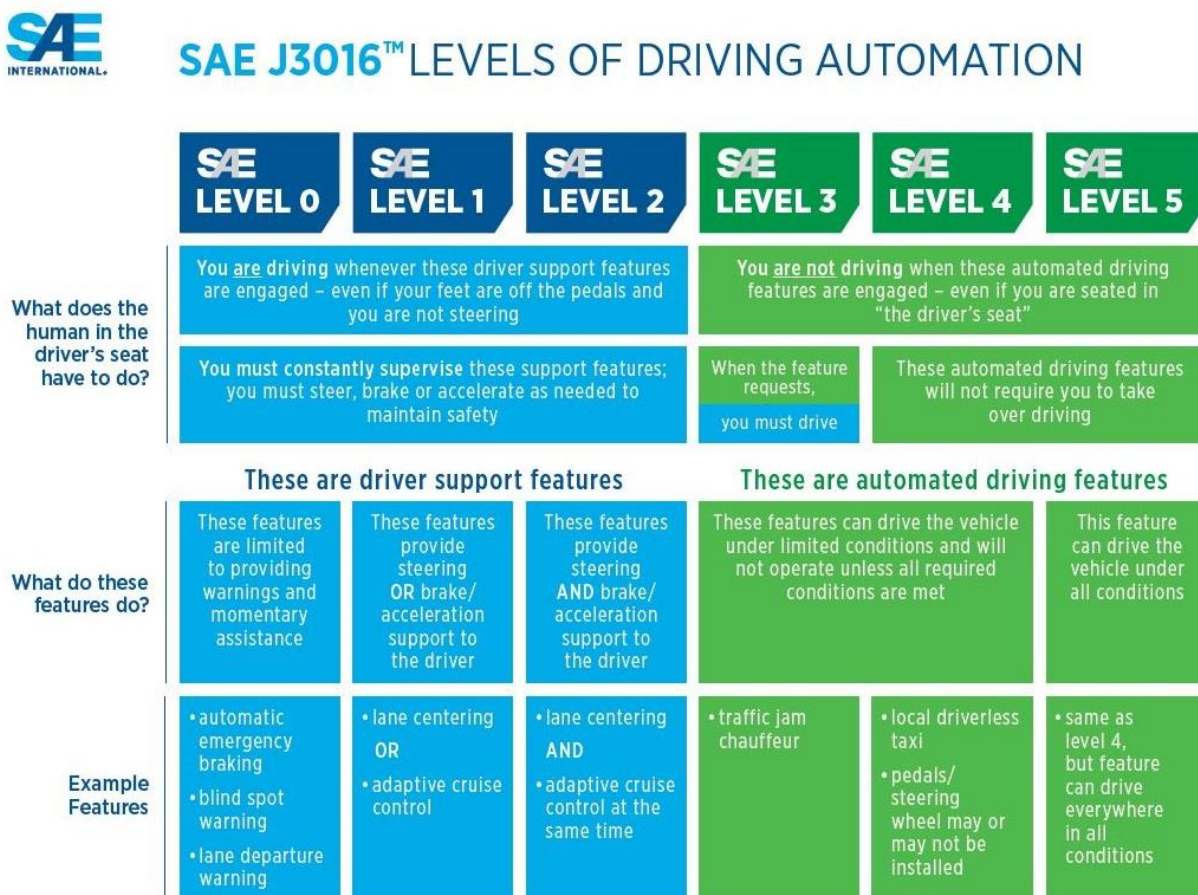


Abbildung 1-2: Klassifizierung nach Autonomiestufen (SAE International, 2018a)

Paradigmenwechsel und neue Rolle der Nutzer

Bubb (2015a) beschreibt den Paradigmenwechsel, der für die Nutzer entsteht, mit Hilfe eines Regelkreises. Dieser enthält die primäre Fahraufgabe des Menschen, die aus der Navigation, der Führung und der Stabilisierung des Fahrzeugs besteht. Zusätzlich kann der Mensch sekundäre und tertiäre Fahraufgaben ausführen, wie das Betätigen der Scheibenwischer oder die Bedienung des Radios (Körper, 2018). Werden bei diesen Fahraufgaben Einflüsse der Umwelt und Fahrdynamik verarbeitet, kann dieses Zusammenspiel als geschlossener Regelkreis dargestellt werden. Abbildung 1-3 zeigt wie automatisierte Fahrfunktionen bei diesem Regelkreis die menschliche Fahraufgaben übernehmen und die Rolle des Nutzers ersetzen können. Das System arbeitet selbstständig. Falls der Mensch Unregelmäßigkeiten beobachtet, kann er in den Prozess eingreifen und die Regelung übernehmen. „Bei der parallelen Verschaltung von Mensch und Maschine kommt dem Menschen eine Beobachtertätigkeit zu“ (Bubb, 2015a, S. 36). Die Fahrer von automatisierten Fahrzeugen nehmen hierbei neue Rollen ein. Sie können nun als Nutzer, Beobachter, passive Fahrer oder „etwas mehr als ein Passagier“ (McCall, McGee, Meschtscherjakov, Louveton & Engel, 2016, S. 194) angesehen werden.

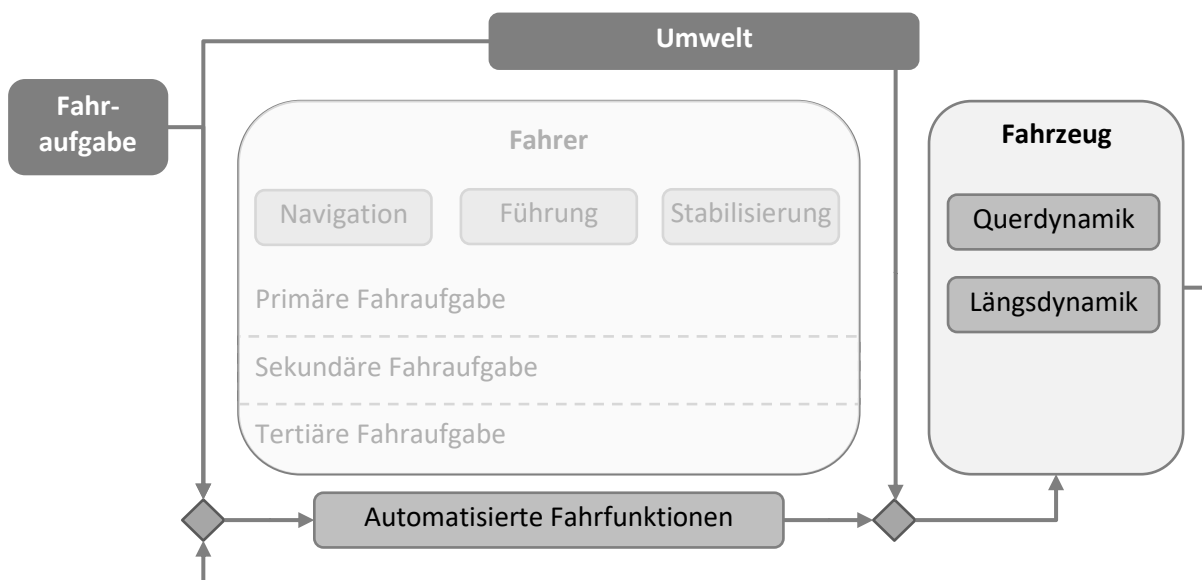


Abbildung 1-3: Paradigmenwechsel im Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis – angelehnt an Bubb (2015a) und Körper (2018)

Diese Arbeit legt ihren Schwerpunkt auf das hochautomatisierte Fahren. Der Schritt von der Teil- zur Hochautomation führt nach Beiker (2015 – Bubb 2015, Seite 199) zu einer „grundsätzlichen Veränderung des Autofahrens“. Die Fahrer sind nur noch ein beobachtender Teil des Regelkreises und müssen das Fahrzeug nicht mehr durchgehend führen. Da sie erstmalig anderen Aufgaben nachgehen können, verändert sich auch das Nutzererlebnis. Nach Knobel (2013) verschiebt sich der Fokus der Entwicklung von der Freude am Fahren auf die Freude beim Fahren.

Durch den Paradigmenwechsel und die zeitweise Verantwortungsübergabe an die Automation ergeben sich ebenso neue Fragestellungen und Aufgaben für die Validierung der automatisierten Fahrfunktionen (die so genannte Absicherung; (Stiller, 2016)). Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zu diesem Paradigmenwechsel in der menschenzentrierten Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen leisten.

1.4 Struktur der Arbeit

In den folgenden beiden Unterkapiteln wird der inhaltliche Aufbau dieser Arbeit beschrieben sowie eine Übersicht der verwendeten Methoden gegeben.

1.4.1 Inhaltlicher Aufbau

Simola et al. (2005) haben für die Risikobeurteilung im Bereich von Kernkraftwerken einen Prozess für expertenbasierte Bewertungen konzipiert. So werden alternde Komponenten und ihre Sicherheit kontrolliert und eingestuft. Dies umfasst unter anderem die Identifikation der Probleme, für die es einer Expertenbewertung bedarf, die Auswahl der Experten, die Expertenbefragung und Auswertung der Ergebnisse sowie ihre Dokumentation. Die inhaltliche Struktur der vorliegenden Arbeit ist angelehnt an das Vorgehen bei Expertenbewertungen von Simola et al. (2005) sowie bei der wahrnehmungspsychologischen Untersuchung von Fahrerassistenzsystemen nach Müller, T. A. (2015).

Nach der Motivation und Herleitung der konkreten Fragestellung in Kapitel 1 wird in Kapitel 2 der aktuelle Stand der Absicherung von automatisierten Fahrfunktionen vorgestellt. Hierzu zählen neben den Grundlagen mögliche Methoden für den Einsatz im Realverkehr und in der Fahrsimulation. Die Kernfrage hierbei ist, wie automatisiertes Fahren durch Experten und Laien innerhalb von frühen Entwicklungsphasen evaluiert werden kann, wenn Fahrfunktionen in realen Fahrzeugen noch nicht verfügbar sind. Neben Fahrsimulatoren können Funktionen durch Versuchsfahrer in einem so genannten Wizard-of-Oz-Aufbau simuliert werden, um so das Nutzererlebnis auch im Realverkehr bewerten zu können.

Das zu bewertende Nutzererlebnis wird in Kapitel 3 detailliert erläutert. Aufgrund seiner multidisziplinären Art existiert für den Begriff des Nutzererlebnisses keine einheitliche Definition. Aus diesem Grund werden relevante Definitionen und Einflussfaktoren vorgestellt sowie auf die Messbarkeit des Nutzererlebnisses während einer automatisierten Fahrt eingegangen. Darüber hinaus werden in Kapitel 3 expertenbasierte Bewertungen behandelt. Neben der Definition und den theoretischen Grundlagen wird aufgezeigt, wie Expertenbewertungen in Wissenschaft und Industrie typischerweise eingesetzt werden und wo diese ihre Einschränkungen haben.

In Kapitel 4 werden Expertenbewertungen im Rahmen von Probandenstudien mit den vorgestellten Methoden durchgeführt. Wie in den vorherigen Kapiteln eingeleitet, wird das Nutzererlebnis während einer automatisierten Fahrt in unterschiedlichen Versuchsumgebungen und durch unterschiedliche Expertisen bewertet. Die Versuchsreihen beginnen mit einer explorativen Studie zur Ermittlung von Einflussfaktoren auf das Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren. Darauf aufbauend finden Vergleiche zwischen Experten und Laien in unterschiedlichen Versuchsumgebungen statt. So wird verglichen, wie sich die Bewertung des Nutzererlebnisses zwischen Experten und Laien sowohl im Realverkehr als auch in der Fahrsimulation unterscheidet.

Kapitel 5 fasst die Ergebnisse der drei Studien zusammen und diskutiert diese gesamthaft. Dabei werden die Vorteile und Einschränkungen von Bewertungen des Nutzererlebnisses in Abhängigkeit der Expertise und der Versuchsumgebung aufgezeigt. Hierbei soll ein Beitrag zur Frage geleistet werden, in welchem Maß Experten die Bewertungen von Laien im Rahmen einer automatisierten Fahrt vorhersagen können. Durch Empfehlungen bei der Untersuchung des Nutzererlebnisses und der Identifikation weiteren Forschungsbedarfs wird die vorliegende Arbeit abgerundet.

1.4.2 Methodenübersicht

Tabelle 1-1 gibt eine Übersicht über die verwendeten Methoden dieser Arbeit. Diese beinhalten Vergleiche in der Bewertung des Nutzererlebnisses zwischen Probanden mit unterschiedlicher Expertise in unterschiedlichen Versuchsumgebungen.

Tabelle 1-1. Methodenübersicht

		<i>Expertise</i>	
		<i>Experten</i>	<i>Laien</i>
Versuchsumgebung	Realverkehr	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Studie #1 explorative Expertenbewertung des Nutzererlebnisses </div>	
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Studie #2 Bewertung des Nutzererlebnisses abhängig von der Expertise </div>	#4 Vergleich der Versuchs- umgebungen
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Studie #3 Bewertung des Nutzererlebnisses abhängig von der Expertise </div>		

2. Automatisiertes Fahren absichern

„Der kritische Pfad zur Einführung autonomer Fahrzeuge liegt nicht in der Technologie, sondern in der Entwicklung einer Metrik, die eine Freigabe ermöglicht“ (Winner & Wachenfeld, 2013, S. 33). Bevor automatisierte Fahrzeuge für den Kundenmarkt freigegeben werden, sollte nicht nur geklärt werden, was die Automation leisten muss. Es gilt auch zu klären, wie man nachweisen kann, dass sie dies zuverlässig leistet (Stiller, 2016). Die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen bedingt somit auch immer die Suche nach einer passenden Methodik für ihre Absicherung.

Im Jahr 2018 haben weltweit 46 verschiedene Unternehmen – für sich selbst sowie in Kooperationen – an automatisierten Fahrfunktionen geforscht und diese entwickelt (Autotech, 2018). Weltweit gab es 74 Städte, die ein Pilotprogramm für autonome Fahrzeuge führten, davon 23 Städte in Europa und drei in Deutschland (Coren, 2018). In diesem Zusammenhang hat das Unternehmen Waymo im Oktober 2018 verkündet, mit seiner autonomen Flotte gesamthaft 10 Millionen Kilometer gefahren zu sein (Hu, 2018). Der exponentielle Anstieg der Entwicklungskilometer, die Waymo auf realen Straßen zurückgelegt hat, steht sinnbildlich für die Bemühungen aller Unternehmen automatisierte Fahrfunktionen abzusichern.

Winner und Wachenfeld (2013) beschreiben die Notwendigkeit und Ziele der Absicherung automatisierter Fahrfunktionen im Rahmen von Feldversuchen. Sie sehen folgende drei Anforderungen:

- Eine automatisierte Fahrt muss sicher sein.
- Funktionsgrenzen müssen mit zeitlich ausreichendem Abstand erkannt werden.
- Ein sicherer Übergang zum manuellen Fahrmodus muss gewährleistet werden.

Wie am Beispiel der autonomen Fahrzeuge von Waymo zu sehen ist, können diese sicherheitsrelevanten Anforderungen mit Methoden wie Dauerlauf- und Usecase-basierten Verfahren nachgewiesen werden (Winner & Wachenfeld, 2013). Gleichzeitig werden Prozesse entwickelt, um den immensen Absicherungsaufwand zu reduzieren (Zhao, 2016). Diese Methoden und Anforderungen haben jedoch alle den Sicherheitsaspekt im Vordergrund und werden in der vorliegenden Arbeit als Basis für ein positives Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren angesehen (Distler, Lallemand & Bellet, 2018; Frison, Wintersberger, Liu & Riener, 2019).

Der Fokus der beschriebenen Versuchsreihen liegt auf der Absicherung der Kundenanforderungen im Rahmen einer menschenzentrierten Entwicklung (siehe Kapitel 1.1). Diese Absicherung „geschieht durch Methoden der Bewertung und Versuche“ (Bubb, Bengler et al., 2015, S. 618) und wird im Folgenden beschrieben.

2.1 Grundlagen

Automationseffekte, die in anderen Bereichen bereits in den achtziger Jahren beschrieben wurden, werden zunehmend im Straßenverkehr relevant und betreffen somit die Nutzer von automatisierten Fahrfunktionen und deren Erlebnis. Hierzu zählen unter anderem ein fehlendes Situationsbewusstsein, Kompetenzverlust sowie zu großes oder zu geringes Vertrauen in die Automation (Bainbridge, 1983; Damböck, 2013; Lindberg, 2011; Wiener, 1989). Aus diesen Risiken ergeben sich gleichermaßen Anforderungen für die Erprobung, Absicherung und Bewertung automatisierter Fahrzeuge (Gold, Meyer & Fischer, 2018). Diese Anforderungen können aus Normen, Gesetzen oder von Nutzern stammen. Für das technische System gilt es diese zu erfüllen, um letztendlich für den öffentlichen Straßenverkehr freigegeben zu werden und einer menschenzentrierten Entwicklung gerecht zu werden (Wachenfeld & Winner, 2015).

Mit dem Projekt PEGASUS wird ein Absicherungsverfahren für automatisierte Fahrfunktionen erarbeitet. Der Zusammenschluss von 17 Partnern aus der Forschung und Automobilbranche entwickelt hierzu Methoden und Werkzeuge, wie Testumgebungen, zu testende Szenarien und Qualitätsmaße (Stiller, 2016). Diese Szenarien können schließlich in der Simulation, auf einem Prüfgelände oder im Realverkehr bewertet werden. Abbildung 2-1 zeigt das Modell von Stiller und beschreibt den Ablauf sowie die Zusammenhänge dieser Wirkkette (siehe auch V-Modell VDI 2206).

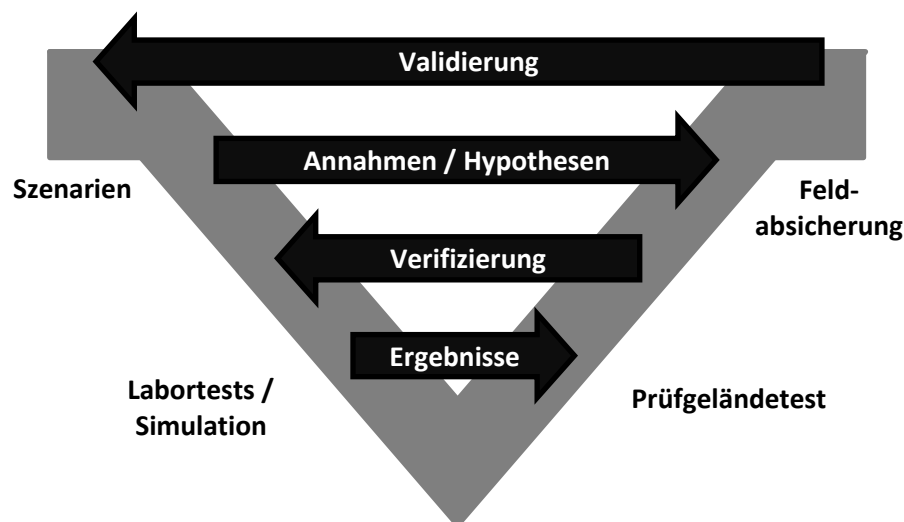


Abbildung 2-1: Modell zur Absicherung von automatisierten Fahrfunktionen nach Stiller (2016)

Wie zu sehen werden Szenarien und Fahrmanöver sowie theoretische Annahmen letztendlich in einer Feldabsicherung validiert. Dabei sind auch Daten aus experimentellen Bewertungen notwendig, um diese theoretischen Modelle und Annahmen zu überprüfen. Hierbei können unterschiedliche Absicherungsverfahren eingesetzt werden, um diese Daten zu sammeln. Sie können aus der Beobachtung realer Nutzer stammen, die ein physisches Produkt verwenden und dabei instruierte Aufgaben ausführen. Durch die Beobachtung des Nutzerverhaltens können Entwickler die Bedürfnisse der Nutzer ermitteln. Hierbei kann das physische Produkt ein Papieraufbau, ein Mock-Up, ein Simulator oder ein Wizard-of-Oz-System sein (Salber & Coutaz, 1993).

Abbildung 2-2 zeigt, angelehnt an Gold et al. (2018), qualitativ den möglichen Einsatzzeitpunkt unterschiedlicher Absicherungsmethoden während der Entwicklungsphase und ihren Beitrag zur Validität der

Ergebnisse. Hierbei soll einerseits die Relevanz der Validität und Repräsentativität als Ziel jeder Methodik verdeutlicht werden (Wachenfeld & Winner, 2015). Andererseits wird ersichtlich, dass bei der Auswahl einer Methodik zwischen ihrer Verfügbarkeit und dem Aufwand sowie dem Zeitpunkt der Entwicklung abgewägt werden muss. Solange reale Fahrzeuge im gegenwärtigen Entwicklungsstadium nicht für den Probandenbetrieb im Realverkehr eingesetzt werden können, kann die Interaktion zwischen Nutzern und dem automatisierten System in Fahrsimulatoren untersucht werden (Gold et al., 2018). Aufgrund dieser fehlenden Umsetzbarkeit von automatisierten Funktionen im Realfahrzeug konzentrierte sich der Großteil der vergangenen Studien auf die Fahrsimulation.

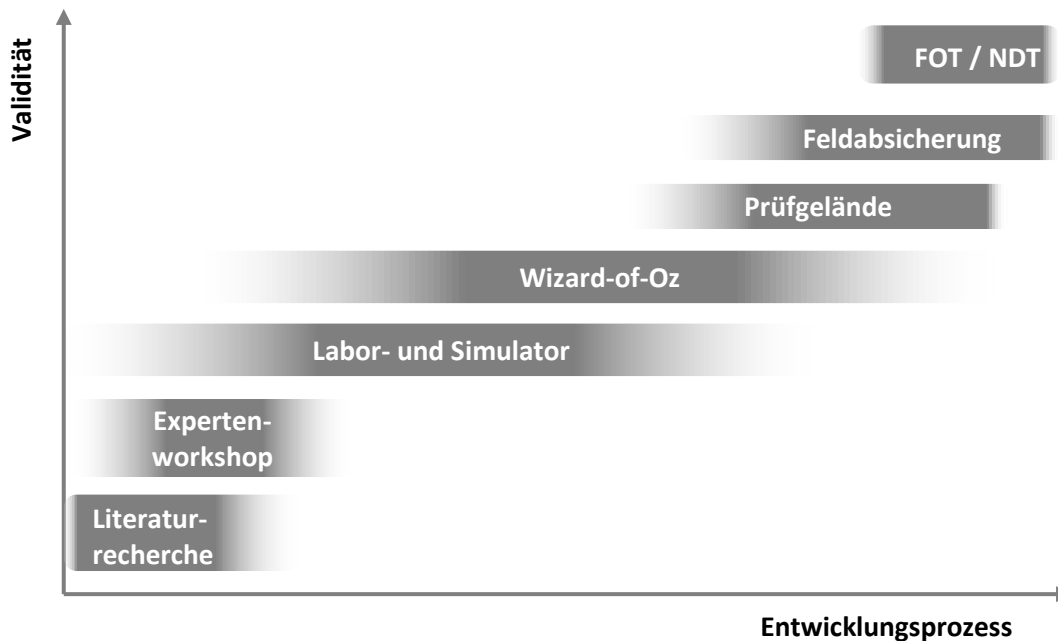


Abbildung 2-2: Absicherungsmethoden für automatisierte Fahrfunktionen in Anlehnung an Gold, Meyer und Fischer (2018)

Mit steigender Konzeptreife steigt auch der Anspruch an die Validität der eingesetzten Methodik. Spezifischer werdende Fragestellungen erfordern eine reale Fahrdynamik und hohe Immersion, um beispielsweise die Auswirkung der Automation auf die Nutzer und ihr Erlebnis zu untersuchen (Gold et al., 2018). Die Immersion kann hierbei als „Grad des Eintauchens“ definiert werden (Bubb, 2015c, S. 589). Da konventionelle Absicherungs- und Untersuchungsmethoden hier an ihre Grenzen stoßen, sind Alternativen für den Einsatz im Realverkehr erforderlich.

2.2 Absicherungsmethoden

Um möglichst gut auf die Anforderungen aus Gesetzen, Nutzergruppen und Richtlinien eingehen zu können (siehe Abschnitt 2.1), ein positives Nutzererlebnis zu schaffen und die Kosten für die Behebung möglicher Entwicklungsfehler gering zu halten (siehe Abschnitt 1.2), ist es notwendig bereits früh im Entwicklungsprozess – bevor erste Versuchsfahrzeuge verfügbar sind – die Qualität automatisierter Fahrfunktionen zu sichern. Mit Modellen des Fahrzeugs, des Fahrers und des Umfelds (siehe Regelkreis in Abbildung 1-3 nach Bubb (2015a)) können automatisierte Fahrfunktionen simuliert werden und Fahrszenarien getestet werden. Mit fortschreitender Entwicklung können einzelne Modelle und Komponenten der Simulation durch reale Menschen, Fahrzeuge oder ein reales Umfeld ersetzt werden. Tabelle 2-1 zeigt

die nach Strasser im Automobilbereich am häufigsten verwendeten Methoden der Absicherung und ihren Anteil an simulierten oder realen Komponenten. Dort werden „besonders Software in the Loop (SiL), Hardware in the Loop (HiL), Vehicle in the Loop (ViL) und Erprobungsfahrzeuge im Realtest“ eingesetzt (Strasser, 2012, S. 6).



Bei der SiL-Methode bewegt ein virtueller Fahrer „das virtuelle Testfahrzeug auf einer virtuellen Fahrbahn in einem virtuellen Umfeld, das beispielsweise reale Streckenverläufe und deren Eigenschaften abbildet und in dem er mit virtuellen Verkehrsteilnehmern interagiert.“ (Hakuli & Krug, 2015, S. 126). Sind reale Komponenten des Fahrzeugs entwickelt und verfügbar, können diese in die Simulationsumgebung eingebettet und getestet werden. In dieser sogenannten HiL-Methode können Hardwareteile wie Sensoren oder Steuergeräte bereits in frühen Entwicklungsphasen in Betrieb genommen werden. Die nachfolgende ViL-Methode erlaubt „den Betrieb des realen Versuchsfahrzeugs in einer virtuellen Umgebung“, in der das Fahrzeug mit seiner Sensorik auf eingespeiste Umgebungssignale reagiert. So können besonders sicherheitsrelevante Fahrmanöver sicher und reproduzierbar getestet werden. Die Fahrereingabe kann dabei simuliert oder mit Hilfe eines definierten Testfalls durch einen realen Menschen erfolgen (Hakuli & Krug, 2015).

Die Vorteile dieser drei „in-the-Loop“-Methoden sind neben der reproduzierbaren und sicheren Testumgebung die hohe Anzahl an Szenarien und Fahrmanövern, die bereits zu einem frühen Entwicklungsstadium getestet werden können. Alle Verfahren haben jedoch das gemeinsame Ziel der technikzentrierten Absicherung. Möchte man den Fokus auf das Nutzererlebnis und eine menschenzentrierte Absicherung legen, sind aber Erprobungsfahrten im Realverkehr nicht möglich, zu unsicher oder zu teuer, müssen diese Absicherungsmethoden erweitert werden. Tabelle 2-2 zeigt die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Methoden der Fahrsimulation (Abschnitt 2.4) und Wizard-of-Oz-Aufbauten (Abschnitt 2.3). Beide Verfahren haben den Einsatz von realen Nutzern und den Fokus auf Aspekte des Nutzererlebnisses gemein. So können Nutzer in der Fahrsimulation in einem realen Fahrzeug mit simulierten Fahrfunktionen eine simulierte Umwelt erleben. Möchte man das Nutzererlebnis jedoch in der realen Umwelt bewerten, kann man die zu untersuchenden Fahrfunktionen durch einen „Wizard“ simulieren.

Tabelle 2-1. Absicherungsmethoden und ihr Anteil realer und simulierter Komponenten nach Strasser (2012)

	<i>Fahrer</i>	<i>Fahrzeug</i>	<i>Umwelt</i>
Software in the Loop (SiL)	simuliert	simuliert	simuliert
Hardware in the Loop (HiL)	simuliert	real	simuliert
Vehicle in the Loop (ViL)		real	
Erprobungsfahrzeug im Realverkehr	real	real	real

Tabelle 2-2. Erweiterung der Absicherungsmethoden um menschenzentrierte Verfahren

	<i>Fahrer</i>	<i>Fahrzeug</i>	<i>Umwelt</i>
Fahrsimulation	real		simuliert
Wizard-of-Oz	real		real

Beide Verfahren unterscheiden sich somit vor allem durch die Art der Nachbildung der Fahrfunktionen sowie durch die eingesetzte Versuchsumgebung. Fahrsimulatorversuche eignen sich besonders bei sicherheitskritischen Untersuchungen sowie bei Fragestellungen, bei denen die Versuchsbedingungen möglichst gut reproduziert und kontrolliert werden sollen. Dabei muss beachtet werden, dass die eingeschränkte Immersion und das Risikoempfinden im Simulator die Übertragbarkeit der Ergebnisse negativ beeinflussen können. Analog dazu bieten Versuche im Realverkehr eine hohe Realitätsnähe bei gleichzeitig nur bedingt kontrollierbaren Versuchsbedingungen. Beide Absicherungsmethoden und –umgebungen werden in den folgenden beiden Abschnitten detailliert behandelt. (Breuer, Hugo, Mücke & Tattersall, 2015; Bubb, Bengler et al., 2015)

2.3 Absicherung im Realfahrzeug und -verkehr

Wie zuletzt erläutert bringt die Fahrsimulation neben Vorteilen hinsichtlich der Objektivität und Reliabilität Einschränkungen der Validität mit sich (Fisher, Rizzo, Caird & Lee, 2011; Gold et al., 2018). Somit sollten Erkenntnisse aus der Fahrsimulation im Entwicklungsprozess durch Daten aus Realfahrzeugstudien ergänzt werden. Im Folgenden werden Möglichkeiten zur Absicherung von automatisierten Fahrfunktionen in einem realen Fahrzeug und realen Verkehr beschrieben.

Absicherung im Realfahrzeug

Üblicherweise werden Versuche von Automobilherstellern auf eigenen Testgeländen und von geschulten und erfahrenen Testfahrern durchgeführt. Im Fokus stehen unter anderem Versuche mit Fahrerassistenzsystemen, die in Hinblick auf ihr Funktionsverhalten, Sicherheit oder ihren Komfort geprüft werden (Bubb, 2015c; Festner, Eicher & Schramm, 2017; Müller, T. A., 2015; Seiniger & Weitzel, 2015). Um hierbei eine Gefährdung von Personen auszuschließen, ist ein erheblicher technischer und organisatorischer Aufwand notwendig. Hierzu zählt unter anderem der Einsatz von speziell ausgebildeten Versuchsfahrern und so genannten „Luftautos“ sowie „Hasenfahrzeugen“. Diese beiden Testwerkzeuge sind bemannte oder unbemannte Fahrzeuge, durch die Verkehrsteilnehmer bei Tests nachgestellt werden. Bei diesen Testfahrten können sich Experten auf einzelne, relevante Aspekte des Versuchs konzentrieren und diese nach definierten Metriken bewerten (Bubb, 2015c; Meyer, M. A. & Booker, 2001).

Laien, „die nach Möglichkeit ein Repräsentativ für die späteren Kunden darstellen sollen“ (Bubb, 2015c, S. 611), werden nur in Ausnahmefällen für Testfahrten herangezogen. Der Nachteil von Probandenversuchen auf einem Testgelände ist die erhöhte Aufmerksamkeit der Versuchsteilnehmer. Es ist davon auszugehen, dass Probanden in der ungewohnten Umgebung außergewöhnlich konzentriert sind und nicht –

wie im Alltag – in ihre gewohnten Verhaltensmuster verfallen, sondern „einen guten Eindruck machen“ wollen (siehe auch Rosenthal-Effekt in Kapitel 1; (Bubb, 2015c, S. 613)). Es besteht die Gefahr, dass gemessene Probandenreaktionen nicht der Realität entsprechen und so interpretiert werden müssen (Bubb, 2015c).

Absicherung im Realverkehr

Bei Untersuchungen beispielsweise zum Fahrerkomfort, zur Wahrnehmung während der Durchführung fahrfremder Tätigkeiten sowie zu Langzeiteffekten kann es notwendig sein, sie im öffentlichen Straßenverkehr durchzuführen, um eine hohe Realitätsnähe und Übertragbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten (Breuer et al., 2015). Bei diesen Versuchen wird ein Versuchsfahrzeug mit Aufzeichnungsmöglichkeiten ausgestattet und von Versuchsleitern begleitet. Diese geben Handlungsaufforderungen, führen Befragungen durch oder fahren gegebenenfalls das Versuchsfahrzeug. Will man das Fahrerverhalten im Alltag erfassen, muss der Einfluss eines Versuchsleiters minimiert werden (Vermeidung des Rosenthal-Effekts, siehe Abschnitt 1.1). Denkbare Methoden sind hier die so genannten Naturalistic Driving Studies (NDS) und Field Operational Tests (FOT) (siehe Abbildung 2-2), bei denen Teilnehmern Versuchsfahrzeuge, die mit entsprechenden Messinstrumenten ausgestattet sind, über mehrere Wochen zur Verfügung gestellt werden, sodass diese auch ohne die Anwesenheit eines Versuchsleiters auskommen (Bubb, 2015c). Auf die zuletzt genannte Methodik wird in der vorliegenden Arbeit nicht detailliert eingegangen, sondern auf folgende Arbeiten verwiesen (Mosebach, Schomerus, Baumann & Noyer, 2008; Sacher, 2008).

Unternehmen wie Waymo, GM, Apple und Uber (California Department of Motor Vehicles, 2019) setzen aktuell auf eine Absicherung mittels Dauerlauf- und Funktionserprobungen und fahren mit einer Reihe von prototypischen automatisierten Fahrzeugen im Realverkehr. Da zu jeder Zeit ein aufmerksamer Sicherheitsfahrer erforderlich ist, der korrigierend eingreifen kann, eignen sich diese Versuchsträger nur bedingt für den Einsatz mit Probanden.

Somit fehlt ein Verfahren, bei dem reale Nutzer eine automatisierte Fahrt im realen Straßenverkehr erleben und ihr Erlebnis bewerten können. Diese methodische Lücke, die Gold et al. (2018) zwischen Simulatorversuchen und Erprobungen mit Versuchsfahrzeugen feststellen, kann durch ein Wizard-of-Oz-System gefüllt werden. In den folgenden Kapiteln wird ein Wizard-of-Oz-Aufbau beschrieben und die Limitationen der Methodik diskutiert.

2.3.1 Wizard-of-Oz – Die Methodik

Wie in Kapitel 1.1 beschrieben schlägt Vollrath (2015a) in einer menschenzentrierten Entwicklung und bei aufwendig herzustellenden Prototypen den Einsatz eines Wizard-of-Oz-Versuchsfahrzeuges vor, um die Interaktion zwischen einem automatisierten Fahrzeug und dem Nutzer in einem frühen Entwicklungsstadium zu erforschen. Die Methodik wird häufig in Forschungsgebieten wie der experimentellen Psychologie und Ergonomie verwendet. Dabei simuliert ein Versuchsfahrer oder -leiter, der sogenannte Wizard, ein automatisiertes System oder eine Computeranwendung, die nach Stand der Technik noch nicht in entsprechendem Funktionsumfang eingesetzt werden kann. Um den Wizard und seine Aufgabe für den Probanden zu verbergen, sitzt dieser in einem anderen Raum oder Abteil. Der Proband glaubt unterdessen mit einem automatisierten System zu kommunizieren (Bengler, Omozik & Müller, 2019).

Mit Hilfe dieser experimentellen Evaluationsmethodik können Prototypen durch potentielle Nutzer getestet, wesentliche Einflussfaktoren auf das Nutzererlebnis identifiziert und das System schrittweise weiterentwickelt werden (Habibovic, Andersson, Nilsson, Malmsten Lundgren & Nilsson, 2016; Schomerus et al., 2006). Da ein Versuchsleiter Systemfunktionen simuliert, können Systeme untersucht werden, die „technisch und zeitlich nur sehr aufwendig herzustellen“ wären (Vollrath, 2015a, S. 57). Wie bereits beschrieben, sind dies die Grundbausteine für eine menschenzentrierte Entwicklung.

Im Kontext des automatisierten Fahrens beruht die Wizard-of-Oz-Methodik auf dem Prinzip, dass die Fahrzeugautomation für den Nutzer verborgen von einem Versuchsfahrer – dem Wizard – dargestellt wird (Gold et al., 2018). Es gibt unterschiedliche Ansätze, um dies zu realisieren. Für die Versuchsreihen dieser Arbeit wurde ein Konzept verwendet, das im Abschnitt 2.3.2 detailliert beschrieben wird. Alle Wizard-of-Oz-Aufbauten haben jedoch das gemeinsame Ziel, die Illusion einer vordefinierten automatisierten Fahrfunktion zu erzeugen (Radlmayr et al., 2018). Der Versuchsfahrer kann beispielsweise hinter dem Probanden sitzen, dort ein zusätzliches Lenkrad sowie Pedalerie (Gas- und Bremspedal) haben (Vollrath, 2015a) und auf diese Weise der Person auf dem Fahrersitz automatisiertes Fahren erlebbar machen.

Gesamthaft betrachtet ist die Wizard-of-Oz-Methodik ein für die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen sehr breit anwendbares Mittel. So können zum einen durch geschulte Versuchsfahrer unterschiedliche Automatisierungsgrade realisiert werden (Radlmayr et al., 2018). Zum anderen können vorläufige Entwicklungsstände in realen Verkehrssituationen geprüft und bewertet werden.

2.3.1.1 Geschichte und Entwicklung

Die Methodik wurde nach dem Kinderbuchklassiker „The Wonderful Wizard of Oz“ aus dem Jahre 1900 von US-Autor Lyman Frank Baum benannt. Sein Märchen handelt von einem Mädchen und ihrem Hund, die in das magische Land Oz entrissen werden. Sie suchen in der Hauptstadt nach dem geheimnisvollen Zauberer von Oz, der ihre Rückkehr ermöglichen soll. Schließlich entpuppt sich der vermeintlich mächtige Zauberer von Oz als Betrüger. Tatsächlich ist er nur ein gewöhnlicher Mann, der mit Hilfe von Tricks die Illusion aufrechterhalten hat, tatsächlich zaubern zu können. (Baum, 1995)

Wizard-of-Oz: frühe Verwendung

Die Wizard-of-Oz-Methodik fand in der Forschung zunächst Anwendung in Studien zur Mensch-Maschine-Interaktion (Gold et al., 2018). So wurden die meisten existierenden Wizard-of-Oz-Konzepte entwickelt, um die Sprachinteraktion mit Computersystemen zu untersuchen. Bereits 1984 wurden Experimente mit Telefondiensten für Flug- und Zuginformationen oder Reservierungsdiensten durchgeführt. Hierbei hat ein Wizard die Anrufe entgegen genommen und durch seine gefilterte Stimme dem Anrufer vorgegeben, mit einem automatischen Informationssystem zu sprechen (Kelley, 1984; Salber & Coutaz, 1993).

Wizard-of-Oz: Verwendung in der Automobilforschung

Nach den anfänglichen Untersuchungen zur natürlichen Sprachinteraktion mit Hilfe der Wizard-of-Oz-Technik (Dahlbäck, Jönsson & Ahrenberg, 1993; Salber & Coutaz, 1993) dehnte sich diese in weitere Forschungsbereiche aus. Zunächst wurde die Methodik für die Entwicklung uni- und multimodaler Systeme verwendet, wie beispielsweise haptischen Mensch-Maschine-Interfaces (Ramstein et al. 1996). Später wurden erste Konzepte für Untersuchungen in der Robotik (Hoffman, G. & Ju, 2014), Interaktion mit

Smartphones (Carter & Mankoff, 2005) sowie für Virtual-Reality-Umgebungen und Fahr simulatoren entworfen. Schomerus et al. (2006), Schieben, Heesen, Schindler, Kelsch und Flemisch (2009) sowie Flemisch et al. (2010) untersuchten mit Hilfe der Wizard-of-Oz-Methodik Assistenzsysteme in Fahr simulatoren im Rahmen der Projekte H-Mode und HAVEit. Beim so genannten Theatersystem wird ein zweiter Versuchsleiter (Confederate) auf einem weiteren Fahrer Arbeitsplatz eingesetzt, der durch einen Vorhang vom Probanden (User) getrennt ist (siehe Abbildung 2-3). Der verdeckt operierende Confederate kann so die Steuereingaben der Automatisierung simulieren. Biester (2005) und Schreiber (2012) stellen mit vergleichbaren Aufbauten im Fahr simulator eine kooperierende Fahrzeugautomation dar und untersuchen diese in Probandenstudien.

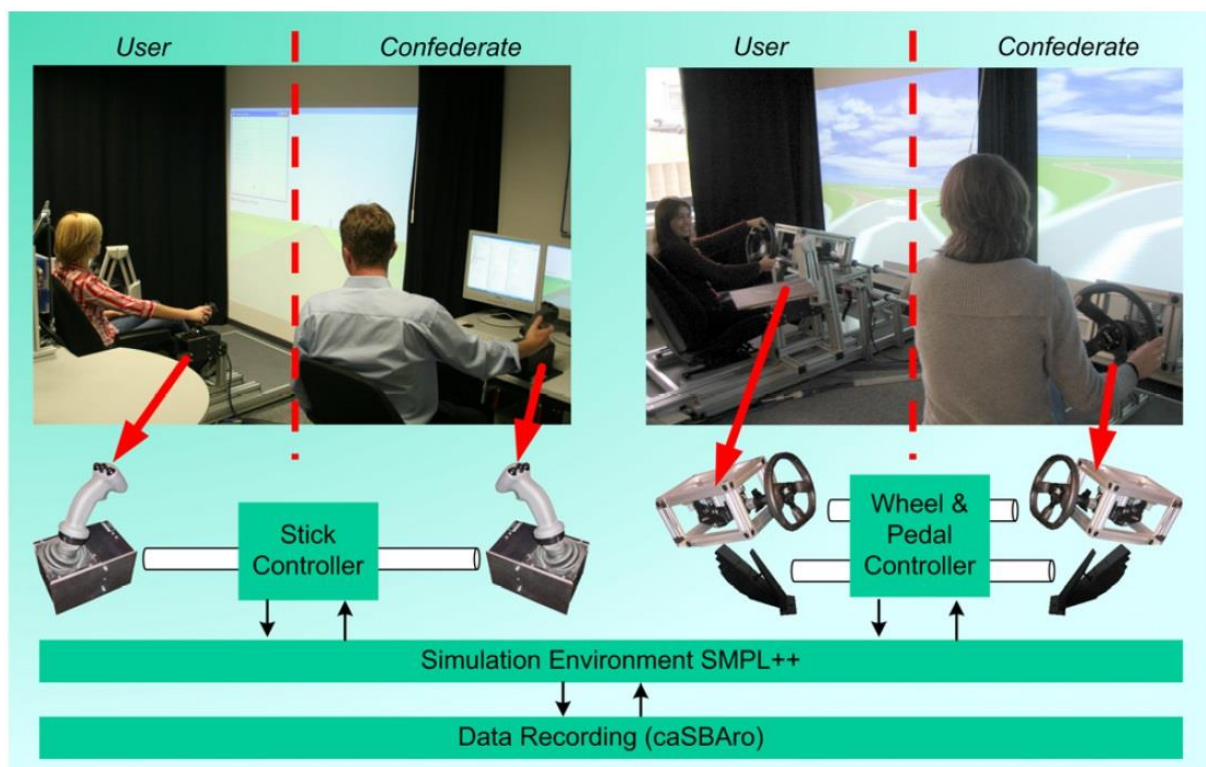


Abbildung 2-3: Theatersystem zur Simulation von automatisierten Fahrfunktionen (Schieben, Heesen, Schindler, Kelsch & Flemisch, 2009)

2.3.1.2 Anwendung unterschiedlicher Konzepte im Realverkehr

Schmidt, G. et al. (2008) sowie Petermann und Schlag (2010) implementieren die Wizard-of-Oz-Idee in ein Versuchsfahrzeug, um unterschiedliche Informations- und Fahrerassistenzsysteme zu simulieren. In einem VW Touran unterteilen sie die vordere und hintere Sitzreihe durch eine halbdurchlässige Scheibe und ermöglichen es dem Versuchsfahrer die Fahrzeugkontrolle verdeckt zu übernehmen (siehe Abbildung 2-4 und Abbildung 2-5). Petermann und Schlag stellen so unterschiedliche Assistenzfunktionen auf der Autobahn dar und untersuchen das Verhalten der Probanden im Übergang zwischen den Automationsstufen. Schmidt, G. et al. validieren ihren Aufbau, indem sie das simulierte System und einen technischen Prototyp anhand objektiver Daten und ihrer subjektiven Bewertungen vergleichen.

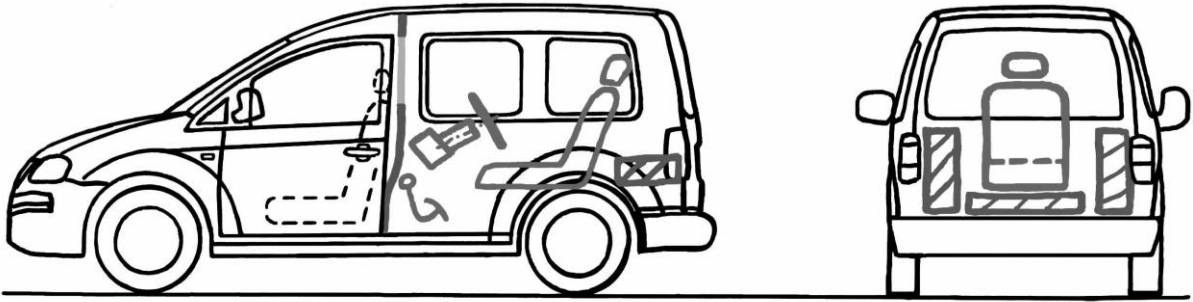


Abbildung 2-4: schematische Darstellung des Wizard-of-Oz-Aufbau von Schmidt, G. et al. (2008)



Abbildung 2-5: Wizard-of-Oz-Versuchsträger (Petermann & Schlag, 2010; Schmidt, G. et al., 2008)

Baltodano, Sibi, Martelaro, Gowda und Ju (2015) nennen ihren Versuchsträger einen Realverkehrssimulator für autonomes Fahren („Real Road Autonomous Driving Simulator“). Sie nutzen zwei Wizards in einem Versuchsfahrzeug, wobei ein Wizard (Versuchsfahrer) die Fahrzeugführung, der zweite Wizard die Interaktion zwischen Fahrzeug und dem Probanden verantwortet. Eine Trennwand aus steifem, undurchsichtigem Material verdeckt die Sicht des Probanden zum Versuchsfahrer. Abbildung 2-6 und Abbildung 2-7 zeigen die Perspektiven des Versuchsfahrers und Probanden. Es ist zu erkennen, dass die Probanden durch die versetzte Anordnung der Trennwand keine Möglichkeit haben den Fahrer oder dessen Lenkrad zu sehen. Gleichzeitig kann der Versuchsfahrer beide Außenspiegel nutzen und wird nicht durch den Probanden abgelenkt.

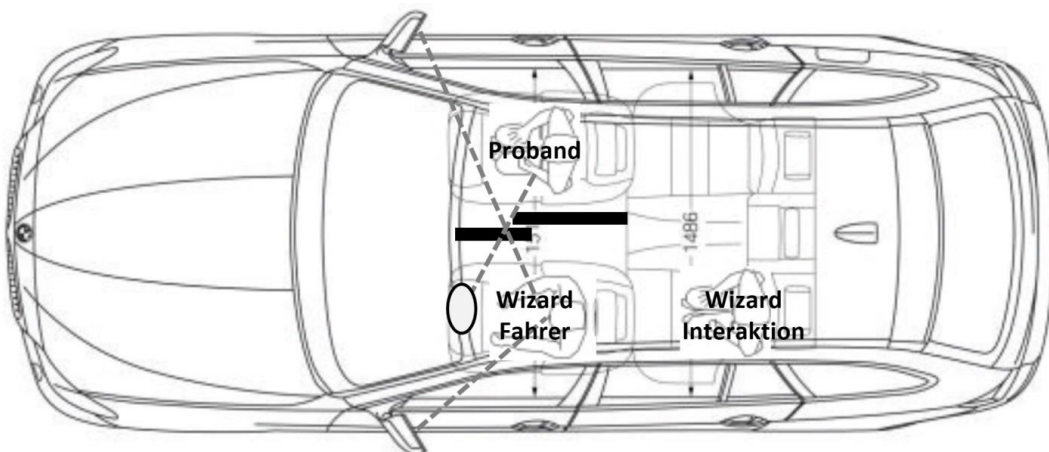


Abbildung 2-6: Schematische Darstellung des Wizard-of-Oz-Konzeptes nach Baltodano et al. (2015)

Baltodano et al. gehen auf die Anforderungen und Limitationen ihrer Methodik ein und nennen Maßnahmen, um den Versuch objektiv und reliabel zu gestalten sowie die Illusion für den Probanden zu gewährleisten. Sie fordern, dass der Versuchsfahrer erfahren und auf der Versuchsstrecke geübt sein soll. Zudem senkt der sogenannte Multiwizard-Ansatz die Belastung des Versuchsfahrers und sichert eine standardisierte Fahrweise, die sich innerhalb eines Probanden sowie innerhalb der gesamten Stichprobe nicht unterscheiden darf.



Abbildung 2-7: Wizard-of-Oz-Versuchsaufbau von Baltodano, Sibi, Martelaro, Gowda und Ju (2015)

Wang, Sibi, Mok und Ju (2017) bedienen sich eines ähnlichen Konzeptes und erweitern ihr Versuchsfahrzeug um einen Fahrerarbeitsplatz für den Probanden auf dem Beifahrersitz. Eine Lenkradattrappe und Pedale für die Versuchsperson dienen hierbei zur Steigerung der Immersion im manuellen Fahrmodus und bei Übernahme-situationen während der automatisierten Fahrt. Die Fahrabsicht des Probanden beim manuellen Fahren wird dem Versuchsfahrer (Wizard) über LED-Anzeigen signalisiert (siehe Abbildung 2-8). Der Versuchsfahrer versucht dies in seiner Fahrzeugführung zu berücksichtigen. Es soll der Eindruck entstehen, dass der Proband einen Einfluss auf die Fahrzeugführung hat.

Während der automatisierten Fahrt dreht sich die Lenkradattrappe des Probanden abhängig vom realen Lenkwinkel mit (siehe Abbildung 2-9). Dies steigert die Immersion und Reliabilität des Versuches, da der Proband im manuellen Fahrmodus ins Fahrgeschehen mental und motorisch eingebunden ist und während der automatisierten Fahrt entlastet wird.



Abbildung 2-8: Marionetten-Konzept von Wang et al. (2017)

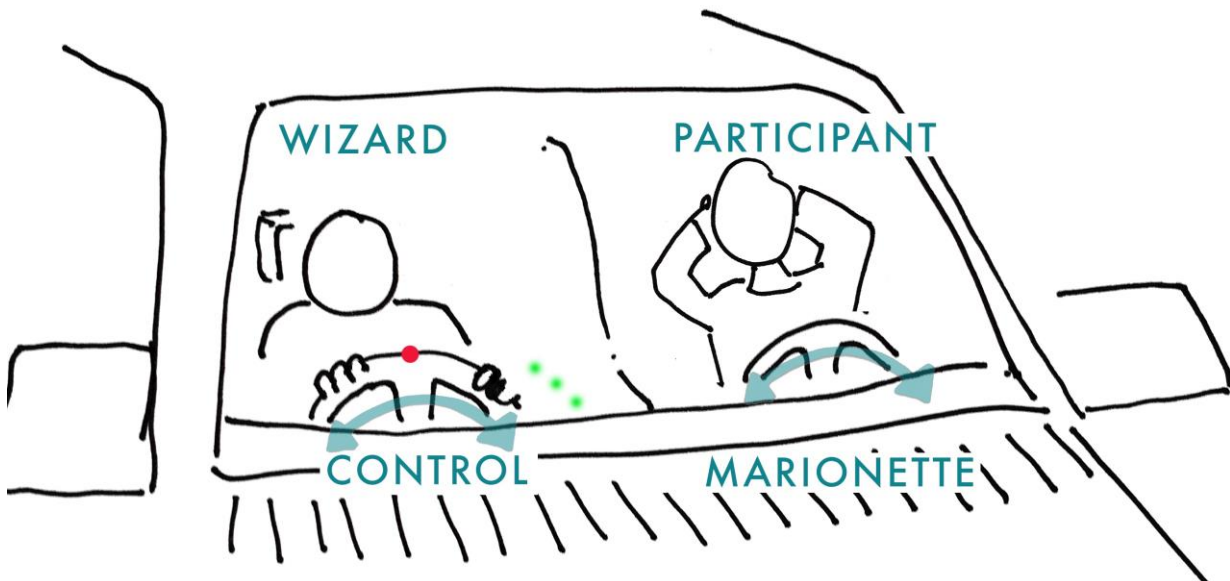


Abbildung 2-9: Schematische Skizze des Marionetten-Konzepts von Wang, Sibi, Mok und Ju (2017)

Marberger et al. (2017) verwenden für ihre Untersuchungen zum gesamthaften Erlebnis einer hochautomatisierten Fahrt einen linksgesteuerten Wizard-of-Oz-Versuchsträger, der von einem Versuchsfahrer auf dem Beifahrersitz verdeckt gesteuert werden kann. Wie in Abbildung 2-10 dargestellt, wurden hierfür im Fußraum des Passagiers eine Pedalerie sowie auf der Armablage der Beifahrertür ein Rotationshebel implementiert, mit dem Lenkeingriffe gemacht werden können. Somit besitzt der Versuchsfahrer auf dem Beifahrersitz Bedienelemente, mit denen er die Längs- und Querregelung des Fahrzeugs übernehmen kann.



Abbildung 2-10: Wizard-of-Oz-Versuchsträger von Marberger et al. (2017)

Weinbeer et al. (2017; 2019) nutzen ein rechtsgesteuertes Fahrzeug (Rechtslenker) als Wizard-of-Oz-Versuchsträger. Abbildung 2-11 zeigt den Aufbau, in dem für den Probanden (Beifahrerseite links) eine Lenkradattrappe und Pedalerie (keine Anbindung zum Fahrzeug) integriert wurden. Der Versuchsfahrer ist durch einen Vorhang getrennt, um sein Lenkverhalten für die Versuchspersonen zu verbergen. Damit der Passagier den umgebenden Verkehr besser beobachten kann, wurden zusätzliche Fahrschulspiegel (Innen- und Außenspiegel) angebracht. Weiterhin dient ein Tablet – angebracht auf der Instrumententafel

direkt vor dem Probanden – als Ersatz für das fehlende Kombiinstrument. Auf diesem werden alle notwendigen Fahranzeigen dargestellt. Der Sichtschutz und der beschriebene zusätzliche Fahrerarbeitsplatz für den Probanden steigern die Immersion. Für ihre Untersuchungen zur Schläfrigkeit während einer hochautomatisierten Fahrt ist es essentiell, dass die Probanden zum einen das Gefühl haben automatisiert gefahren zu werden, zum anderen es eine Möglichkeit gibt, die Übernahme (Transition vom automatisierten zum manuellen Fahren) zu simulieren und die Übernahmeleistung (hier Reaktionszeit und Übernahmedauer) zu messen. Hierbei wird die Reaktionszeit definiert als Zeitraum von der Übernahmeaufforderung bis zur ersten Handlung des Fahrers und die Übernahmedauer als Zeitraum bis zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugverantwortung.



Abbildung 2-11: Wizard-of-Oz-Versuchsträger von Weinbeer et al. (2017; 2019)

Gold et al. (2018) wählen für ihren Wizard-of-Oz-Ansatz ein komplexes und immersives Versuchsträgerkonzept und validieren dieses auf einer Teststrecke. Ziel ihres Experimentes ist es, neben der Validierung des Wizard-of-Oz-Aufbaus, die Übernahmeleistung der Fahrer in zeitkritischen Szenarien zu untersuchen. Wie in Abbildung 2-12 dargestellt, befindet sich der Wizard – analog zum Konzept von Petermann und Schlag (2010) – „für den Probanden verdeckt mittig im Fond des Fahrzeugs und ist durch eine Trennwand mit halbdurchlässiger Scheibe akustisch und visuell vom Vorderraum“ getrennt (Gold et al., 2018, S. 191). Neben der Versuchsperson sitzt der Versuchsleiter auf dem Beifahrersitz und kann instruierend eingreifen und den Wizard unterstützen (siehe Multiwizard-Ansatz in Abschnitt 2.3.1.4).

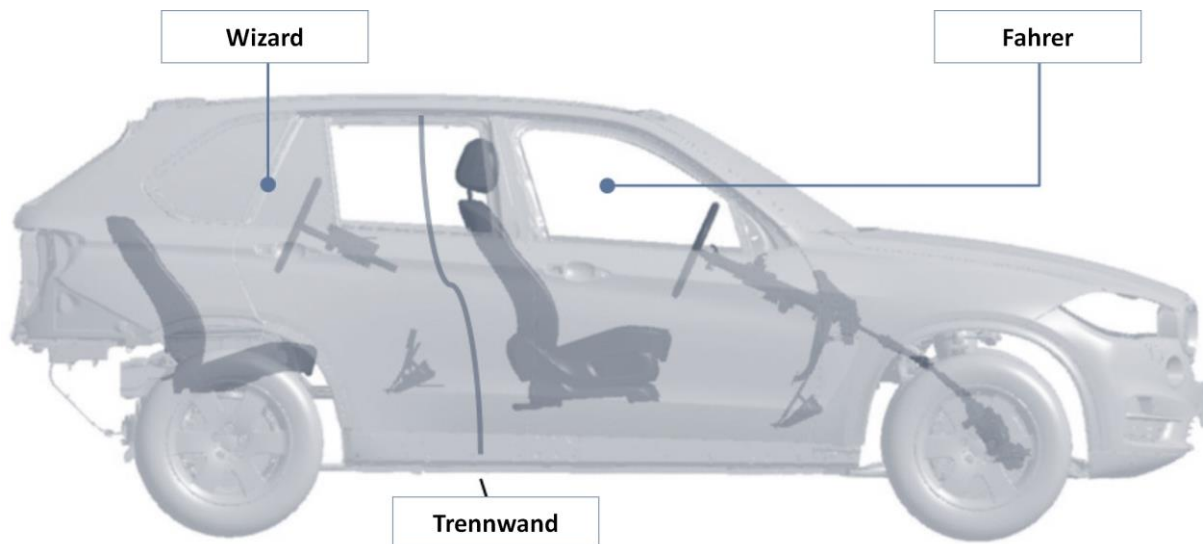


Abbildung 2-12: Wizard-of-Oz-Aufbau nach Gold, Meyer und Fischer (2018)

Dank der projektbezogenen und fachlichen Nähe zur Entwicklungsabteilung konnte in den vorliegenden Versuchsreihen unter anderem auf diesen Versuchsträger zurückgegriffen werden. Technische und organisatorisch relevante Details beim Einsatz dieses Aufbaus werden in Kapitel 2.3.2 beschrieben.

Die vorgestellten Wizard-of-Oz-Methoden dienen zur Untersuchung der Interaktion zwischen dem Nutzer und dem automatisierten Fahrzeug im Realverkehr. Auf andere Konzepte, die beispielsweise die Interaktion zwischen Fußgängern und automatisierten Fahrzeugen adressieren, wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen. Hierfür wird unter anderem auf die Arbeiten von Mok, Sirkin, Sibi, Miller und Ju (2017), Habibovic et al. (2016) sowie Fuest, Michalowski, Träris, Bellem und Bengler (2018) verwiesen.

2.3.1.3 Limitationen und Gütekriterien

Alle vorgestellten Wizard-of-Oz-Aufbauten haben den menschlichen Versuchsfahrer gemein, mit den entsprechenden Vor- und Nachteilen. Durch diesen kann das Automationsverhalten frei gewählt werden. Gleichzeitig jedoch erwarten Baltodano et al. (2015) vom Wizard ein für alle Probanden gleiches, standardisiertes und konstantes Fahrverhalten. Auch Bubb und Bengler et al. (2015) fordern von jedem Versuchsaufbau die Erfüllung der wissenschaftlichen Gütekriterien. Um die Qualität der Erkenntnisse zu gewährleisten, gilt es – analog zur Arbeit von Müller, A., Weinbeer und Bengler (2019) – einen Wizard-of-Oz-Versuch hinsichtlich folgender drei Qualitätskriterien zu bewerten:

- Der Versuch ist *objektiv*: die Ergebnisse sind unabhängig von den Versuchsbedingungen und den Versuchsdurchführenden.
- Der Versuch ist *reliabel*: die Methodik ist zuverlässig und reproduzierbar und führt bei einer Wiederholung zu gleichen Ergebnissen.
- Der Versuch ist *valid*: die Methodik untersucht das Merkmal, das tatsächlich untersucht werden soll.

Objektivität

Eine Messung soll unabhängig vom Versuchsleiter, Versuchsfahrer und den Versuchsbedingungen sein (Bubb, Bengler et al., 2015). Die Objektivität – auch Anwenderunabhängigkeit genannt – ist erfüllt, wenn

verschiedene Versuchsleiter (und Versuchsfahrer) bei „denselben Testpersonen zu denselben Testergebnissen gelangen“ (Döring & Bortz, 2016, S. 442).

Ein Wizard-of-Oz-Versuch kann bezüglich seiner Objektivität anfällig sein, da oftmals mehrere Versuchsfahrer zum Einsatz kommen, die unterschiedliche Fahrstile aufweisen. Dies kann innerhalb der Stichprobe zu einem unterschiedlichen Fahrverhalten der simulierten Automation führen. Die automatisierte Fahrweise wiederum kann Einfluss auf das Erlebnis der Nutzer haben (Bellem, Schönenberg, Krems & Schrauf, 2016; Elbanhawi, Simic & Jazar, 2015; Griesche, Nicolay, Assmann, Dotzauer & Käthner, 2016; Scherer, S. et al., 2015) sowie ihre Absicht das System weiterhin zu nutzen (van Huysduynen, Terken & Eggen, 2018).

Bubb und Bengler et al. (2015) schlagen im Kontext von Fahrzeugerprobungen standardisierte Abläufe und Instruktionen vor, wodurch die oben genannten Einflüsse reduziert werden können. Auch Döring und Bortz (2016) sehen das Gütekriterium Objektivität als erfüllt an, wenn ein Leitfaden konkrete Instruktionen und Hilfestellungen gibt, an die sich Versuchsleiter (und Versuchsfahrer) präzise halten. Im Vorfeld eines Wizard-of-Oz-Fahrversuches soll dementsprechend ein Leitfaden für den Versuchsfahrer und -leiter erarbeitet werden, der – in Bezug auf einzelne Verkehrssituationen – ein definiertes Fahrverhalten vorgibt. Hierbei helfen auch technische Hilfsmittel wie Anzeigen zur Visualisierung physikalischer Größen, beispielsweise der Querschleunigung. Zuletzt schlagen Bengler et al. (2019) und Müller, A. et al. (2019) Trainingsfahrten für die Wizards vor. Auf den im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Leitfaden wird im Abschnitt 2.3.1.4 näher eingegangen.

Reliabilität

Eine wiederholte Messung mit einem Probanden soll zu vergleichbaren Ergebnissen führen (Bubb, Bengler et al., 2015). Das Messobjekt soll sich somit nicht verändern und der Versuch nicht (oder nur gering) durch Messfehler verzerrt werden (Döring & Bortz, 2016).

Aufgrund der erhöhten Anforderungen an die Versuchsfahrer stellt sich die Frage, wie präzise und reproduzierbar sie fahren und somit die gewünschte Automation simulieren können. Durch das eingeschränkte Sichtfeld, die ungewohnte Bedienung und die erhöhte Anzahl an Informationen und Aufgaben steigt die Belastung für die Fahrer (Schmidt, G. et al., 2008). Ein Risiko der Wizard-of-Oz-Methodik ist folglich die potentielle Unschärfe des simulierten Systemverhaltens, da ein inkonsistentes Verhalten des Wizards die Vergleichbarkeit innerhalb einer Versuchsperson einschränken kann (Schreiber, 2012). Daraus ergibt sich die Anforderung an einen Versuchsfahrer einerseits selbst in dynamischen Situationen des Realverkehrs stets reproduzierbar zu handeln (Habibovic et al., 2016). Andererseits darf sich der Wizard nicht durch Aussagen oder Kritik des Probanden an diesen anpassen. So wie der Pferdebesitzer ungewollt den „klugen Hans“ (Kapitel 1) gesteuert hat, so kann ein Versuchsfahrer – ohne präzise Instruktionen – in einem Wizard-of-Oz-Fahrversuch durch Aussagen des Probanden in seiner Fahrweise beeinflusst werden.

Auch Salber und Coutaz (1993) fordern von einem Wizard und seinen Handlungen konsistent im Inhalt, Stil und Tempo zu sein. Ein Wizard darf somit nicht improvisieren. Im Speziellen nennen sie zwei relevante Faktoren:

- Bei einem ähnlichen Kontext muss ein Kommando durch den Probanden stets zum gleichen Verhalten durch den Wizard führen.

- Die Dauer der Rückmeldung muss den Erwartungen des Probanden entsprechen. Eine zu große Reaktionsdauer des Systems kann dazu führen, dass der Nutzer das System meidet, da es überlastet zu sein scheint.

Da Objektivität stets eine Voraussetzung für Reliabilität ist (Döring & Bortz, 2016), kann der angesprochene Leitfaden für Versuchsfahrer (Abschnitt 2.3.1.4) zur Reliabilität des Versuches beitragen. Um ein konsistentes Fahrverhalten zu gewährleisten, sollen die Versuchsfahrer für ihre genau definierten Aufgaben geschult und durch sinnvolle Hilfsmittel unterstützt werden. Hilfsmittel können hierbei eine Reihe an vordefinierten Reaktions- und Verhaltensmustern sein (Salber & Coutaz, 1993).

Ebenso kann der Versuchsleiter als weiterer Wizard unterstützen, um eine mögliche Überbelastung des Versuchsfahrers zu reduzieren und seine Konsistenz zu gewährleisten. Beim sogenannten Multiwizard-Verfahren kann ein Assistent die Fahrzeugschnittstelle zum Probanden, Teile der Automation oder die reine Kommunikation mit der Versuchsperson verantworten. Die Zusammenarbeit aus dem Wizard und dem Interaktionswizard führt zu einer Entlastung des Versuchsfahrers und konstanten Fahrweise (Baldano et al., 2015).

Neben der Fahrweise des Wizards können noch weitere Faktoren Einfluss auf die Reliabilität des Versuchs haben. Hierzu zählen unter anderem Lerneffekte der Probanden, die beispielsweise durch Eingewöhnungsfahrten reduziert werden können (Bubb, Bengler et al., 2015). Weitere typische Rahmenbedingungen und Störvariablen von Realverkehrsstudien, wie dem Straßentyp, die Verkehrsdichte oder Wetter (Müller, A. et al., 2019) werden im Rahmen der Versuchsreihe im weiteren Verlauf der Arbeit behandelt.

Validität

Das Gütekriterium Validität gibt an, ob ein gemessenes Merkmal mit dem zu messenden Kriterium übereinstimmt (Bubb, Bengler et al., 2015; Döring & Bortz, 2016).

Ein substanzielles Ziel eines Wizard-of-Oz-Versuches ist es, dass das untersuchte Nutzerverhalten sich nicht von dem Verhalten bei der Nutzung eines realen automatisierten Systems unterscheidet. Um die Ergebnisinterpretation nicht negativ zu beeinflussen, soll das Fahrverhalten des Versuchsfahrers identisch bleiben, unabhängig davon, ob eine reale Automation oder ein Versuchsfahrer als Wizard die Fahrzeugführung übernimmt (Habibovic et al., 2016). Essenziell ist somit vor jedem Versuch ein valides Fahrverhalten für die Wizard-Instruktion abzuleiten. Hierfür können Expertenabschätzungen, Messfahrten mit prototypischen automatisierten Versuchsfahrern oder Ableitungen aus bestehenden Fahrerassistenzsystemen dienen (Bengler et al., 2019; Habibovic et al., 2016; Müller, A. et al., 2019; Omozik, Yang, Kuntermann, Hergeth & Bengler, 2019).

Um die Validität einer Wizard-of-Oz-Methodik mit einem menschlichen Versuchsfahrer zu bekräftigen, ist es im Anschluss notwendig das Fahrverhalten des Versuchsfahrers mit der realen Automation zu vergleichen (Habibovic et al., 2016; Schmidt, G. et al., 2008). Hierzu zählen unter anderem die Fahrdynamik und Fahrstrategie, wie die Bereitschaft für Fahrstreifenwechsel oder Kooperation mit anderen Verkehrsteilnehmern. Angelehnt an das Vorgehen von Bubb und Bengler et al. (2015) kann die konvergente Validität einer Wizard-of-Oz-Fahrt durch die Korrelation mit der Messung einer realen automatisierten Fahrt bestimmt werden.

Zuletzt muss beim Versuchsaufbau und der Versuchsdurchführung stets ein besonderes Augenmerk darauf gelegt werden, dass die Täuschung des Probanden über die gesamte Dauer der Studiendurchführung

aufrechterhalten wird (Schreiber, 2012). Das Wissen der Versuchsperson über den Wizard und die Simulation würde das Verhalten und die Beurteilung des Systems durch den Probanden beeinflussen (Dow et al., 2005).

2.3.1.4 Erarbeitung eines Leitfadens

Wie im letzten Abschnitt beschrieben erkennen Baltodano et al. (2015) die Notwendigkeit eines standardisierten Fahrverhaltens, das sich innerhalb eines Probanden sowie innerhalb der gesamten Stichprobe nicht unterscheiden darf. Um zu einem objektiven und reliablen Fahrverhalten beizutragen, wird im Rahmen der Versuchsreihen dieser Arbeit ein Leitfaden für Wizard-of-Oz-Versuche erarbeitet. Dieser Leitfaden kann aus folgenden drei Aspekten bestehen: Instruktionen, die das gewünschte Fahrverhalten in der gesamten Fahrt oder in speziellen Situationen definieren; technische Maßnahmen, wie Messinstrumente und Anzeigen für den Versuchsfahrer; und zuletzt organisatorische Maßnahmen, wie den Einsatz mehrerer Wizards zeitgleich. All diese Hilfsmittel haben das gemeinsame Ziel zur Konsistenz des Wizard-Fahrverhaltens beizutragen.

Instruktionen

Anhand objektiver Metriken für den Fahrstil automatisierter Fahrzeuge werden in Anlehnung an Elbanhawi et al. (2015), Bellem et al. (2016), Festner et al. (2017) und Griesche et al. (2016) Kriterien festgelegt, die das zu realisierende Fahrverhalten definieren (Tabelle 2-3). Mit Hilfe dieser Kriterien können Fahrsituationen in Freifahrt, Folgefahrt und beim Fahrstreifenwechsel objektiv beschrieben werden.

Tabelle 2-3. Instruktion für Wizard

Längsdynamik	Abstand	Minimaler Abstand zum Vorderfahrzeug
	Geschwindigkeit	Maximale Geschwindigkeit
	Beschleunigung	Maximale Längsbeschleunigung Maximaler Längsruck
Querdynamik	Beschleunigung	Maximale Querbeschleunigung Maximaler Querruck
Fahrstrategie	Sicht / Reichweite	Maximale Sicht / Reichweite nach vorne
	Fahrstreifenwechsel	Minimale Lückengröße Maximale Frequenz der Fahrstreifenwechsel
	Kooperationsverhalten	Verhalten gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern, beispielsweise bei Autobahnauffahrten

In Rahmen der Instruktion und den technischen Maßnahmen wird auf die Arbeit von Himmels, Omozik, Jarosch und Buchner (2021) verwiesen. Sie haben verfügbare Fahrerassistenzsysteme in einem Wizard-of-Oz-Aufbau eingesetzt, um das Fahrverhalten des Versuchsfahrers und dessen Konsistenz zu unterstützen. Zum Zeitpunkt der vorliegenden Versuchsreihe war dies jedoch nicht möglich. Das Wizard-of-Oz-Fahrzeug dieser Arbeit hat nur eine rein manuelle Fahrzeugführung durch den Probanden oder den Versuchsfahrer ermöglicht.

Technische Maßnahmen

Neben der üblichen Instrumentenanzeige für den Wizard mit Fahrinformationen zu Geschwindigkeit, Automationsmodus und Fahrtrichtungsanzeiger (Tacho) werden folgende vier Maßnahmen vorgeschlagen, um die Einhaltung der in Tabelle 2-3 genannten Kriterien üben und kontrollieren zu können:

1. Visualisierung des Abstandes zum Vorderfahrzeug
2. Visualisierung der Längsbeschleunigung
3. Visualisierung der Querbeschleunigung
4. Nutzung einer Geschwindigkeitsregelung

Mit den genannten Hilfsmitteln ist es dem Versuchsfahrer möglich, den Abstand zum Vorderfahrzeug zu überprüfen und den minimalen Abstand einzuhalten. Weiterhin kann er die Dynamik bei Brems- und Beschleunigungsvorgängen sowie bei Fahrstreifenwechseln besser kontrollieren. Die Nutzung einer Geschwindigkeitsregelung entlastet den Versuchsfahrer, da er sich weniger auf die Geschwindigkeit konzentrieren muss. Hierbei müssen die Funktionalität und Schwächen der eingesetzten Regelung beachtet werden.

Organisatorische Maßnahmen – Vorbereitung

Angelehnt an die Kriterien von Schreiber (2012), Bengler et al. (2019) und Müller, A. et al. (2019) werden folgende Maßnahmen zur Versuchsvorbereitung vorgeschlagen, um ein konsistentes Wizard-Fahrverhalten zu unterstützen:

1. Versuchsfahrer und –leiter kennen die Versuchsstrecke. Die Eigenheiten des Streckenverlaufs (Auffahrten, Geschwindigkeitsbegrenzungen, potentiell sicherheitsrelevante Abschnitte) sowie mögliche Sondersituationen sind für Versuchsfahrer und –leiter somit verständlich und besser prädizierbar.
2. Die Versuchsfahrer haben den Streckenablauf mehrmals durchfahren und die geplanten Fahrmanöver geübt.
3. Eine maximale Anzahl an Versuchsfahrern wird festgelegt. Die Zahl der Wizards muss hierbei groß genug sein, um die Versuchsfahrer zu entlasten, jedoch klein genug, um ein konsistentes Fahrverhalten zu garantieren.
4. Basierend auf Vorversuchen wurden potentiell kritische Verkehrssituationen identifiziert, die während des Versuches auftreten können. Zudem ermöglichen die gewonnen Erkenntnisse eine Weiterentwicklung der Wizard-Instruktionen und der Verhaltensregeln.

Organisatorische Maßnahmen – Multiwizard-Ansatz

Zuletzt kann ein Multiwizard-Ansatz dazu dienen, die Belastung für den Versuchsfahrer zu senken und so sein Fahrverhalten beständiger zu halten. Bei diesem Ansatz wird der Versuchsleiter, der sich während der Fahrt im Fahrzeug befindet, als zweiter Wizard genutzt. Mögliche Aufgaben werden in Tabelle 2-4 aufgezählt:

Tabelle 2-4. Aufgaben für den zweiten Wizard / Versuchsleiter

Absicherung des Verkehrsgeschehens	<p>Der Versuchsleiter kann potentiell gefährliche Situationen oder Hindernisse frühzeitig erkennen.</p> <p>Er kann bevorstehende Gefahren über einen verdeckten Kommunikationskanal an den Versuchsfahrer rückmelden.</p>
Einflussnahme auf Fahrverhalten	<p>Der Versuchsleiter kann – je nach Fragestellung der Untersuchung – abhängig von der Verkehrssituation Anweisungen an den Versuchsfahrer geben.</p> <p>Er kann somit Einfluss auf das gewünschte Fahrverhalten nehmen.</p>
Steuerung der Interaktion zwischen Fahrzeug und Proband	<p>Der Versuchsleiter kann geplante oder ungeplante Übernahmeaufforderungen an den Probanden auslösen.</p> <p>Er kann fahrfremde Tätigkeiten und Entertainment-Angebote instruieren und steuern.</p>
Interaktion mit Probanden	<p>Der Versuchsleiter kann definierte Situationen erkennen und diese in der Aufzeichnung markieren.</p> <p>Er kann die Versuchsperson befragen und Situationen momentan bewerten lassen.</p>

Der beschriebene Leitfaden und seine Maßnahmen können einen Beitrag zur wissenschaftliche Güte eines Wizard-of-Oz-Versuches leisten (Bubb, Bengler et al., 2015; Habibovic et al., 2016; Salber & Coutaz, 1993; Schmidt, G. et al., 2008; Schreiber, 2012). Sie tragen zu einem vergleichbaren Fahrstil unter den eingesetzten Versuchsfahrern bei (Objektivität), sie gewährleisten einen konsistenten Fahrstil innerhalb einer Fahrt sowie über alle Fahrten (Reliabilität) und ermöglichen die Vergleichbarkeit mit realen automatisierten Fahrzeugen (Validität).

2.3.2 Wizard-of-Oz im Fond

Nachdem unterschiedliche Konzepte der Wizard-of-Oz-Methodik vorgestellt wurden, wird nun auf einen Aufbau exemplarisch eingegangen. Um die Vergleichbarkeit dieses Konzeptes mit einem Fahr Simulator gewährleisten zu können, werden beide Versuchsumgebungen vorgestellt und anhand der Funktionalität, den Einsatzmöglichkeiten und Limitationen sowie der konkreten Umsetzung in dieser Arbeit diskutiert.

Wie in Abschnitt 2.3.1.1 erwähnt, wurde durch Gold et al. (2018) ein Wizard-of-Oz-Konzept mit einem Versuchsfahrer auf der Rücksitzbank für Untersuchungen von automatisierten Fahrfunktionen aufgebaut. Dieser Aufbau wird für die anschließenden Versuchsreihen verwendet und nun diskutiert.

2.3.2.1 Aufbau und Funktionalität

Versuchsträger

Angelehnt an das Konzept von Schmidt, G. et al. (2008) sowie Petermann und Schlag (2010) wurde beim Versuchsträger von Gold et al. (2018) der Fahrer Arbeitsplatz für den Versuchsfahrer mittig im Fond des Fahrzeugs angebracht. Der Wizard ist durch eine einseitig verspiegelte Trennwand akustisch und visuell vom Vorderraum des Fahrzeugs getrennt und somit für den Probanden verdeckt. Abbildung 2-13 zeigt die räumliche Aufteilung im Fahrzeug, die Position der Trennwand und die Platzierung des Versuchsfahrers (Wizard), des Probanden und des Versuchsleiters. Um die Belastung für den Versuchsfahrer zu minimieren und die Limitationen des Wizard-of-Oz-Konzeptes einzuschränken (siehe Abschnitt 2.3.1.3), befindet sich auf dem Beifahrersitz stets ein Versuchsleiter, der instruierend eingreifen und Einfluss auf das Systemverhalten nehmen kann (siehe Multiwizard-Ansatz). Letztlich sitzt der Proband auf dem Fahrersitz, von dem er das Fahrzeug manuell steuern kann sowie „die Fahrzeugführung an die Automation (den Wizard) übergeben und wieder übernehmen“ kann (Gold et al., 2018, S. 190).

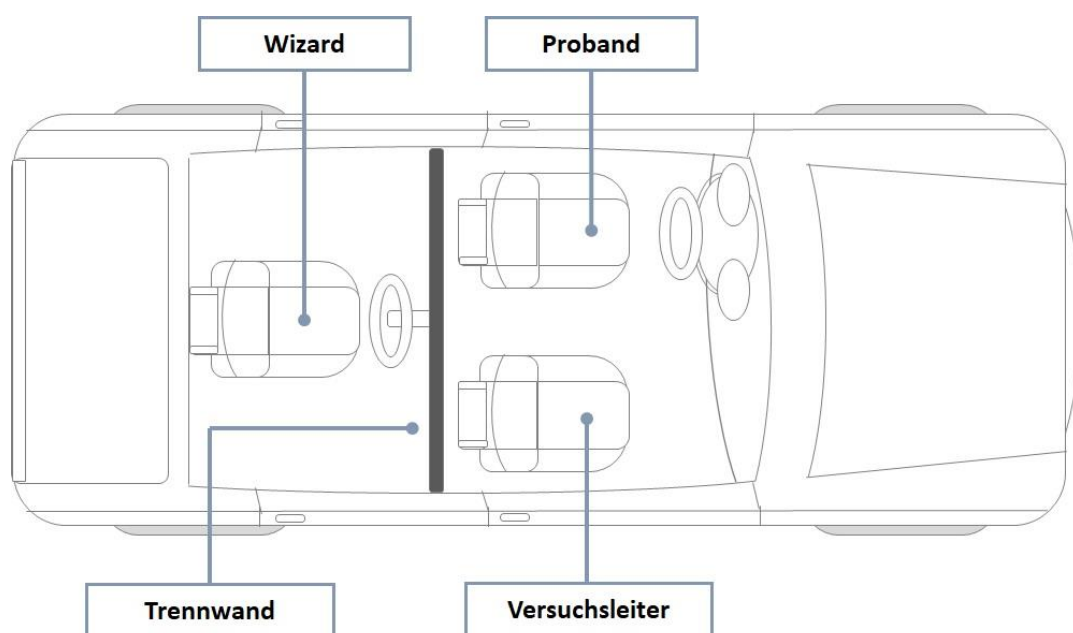


Abbildung 2-13: Schematische Darstellung des Wizard-of-Oz-Konzeptes „Fond“

Abbildung 2-14 zeigt den Arbeitsplatz des Wizards im Fond des Versuchsfahrzeugs. Das Sichtfeld auf die Fahrbahn nach vorne wird durch die Kopfstützen der vorderen Sitze beschränkt. Die laterale Sicht auf die benachbarten Fahrstreifen wird durch die verdunkelten hinteren Seitenscheiben ermöglicht. Die Sicht auf die Fahrbahn nach hinten wird durch ein Kamera-Monitor-System realisiert. Weitere Kamera-Monitor-Systeme decken die für den Wizard schlecht einsehbaren Bereiche ab, wie den toten-Winkel-Bereich.

Der Versuchsfahrer gibt den Automationsmodus frei („Autobahnassistent verfügbar“), erkennt, ob der Proband den Knopf zur Aktivierung drückt, deaktiviert für den Probanden den manuellen Fahrmodus und übernimmt die Fahrzeugkontrolle. Bei einer Übernahmeaufforderung kann der Versuchsfahrer und Versuchsleiter dem Probanden dies visuell und akustisch signalisieren. Der Versuchsfahrer kann über Detektoren feststellen, ob der Proband seine Hände am Lenkrad hat und den Knopf zur Deaktivierung der Automation drückt. In diesem Fall aktiviert er für den Probanden den manuellen Fahrmodus.



Abbildung 2-14: Fond und Vorderraum im Wizard-of-Oz-Versuchsträger (Gold, Meyer & Fischer, 2018)
Versuchsleiter-Schnittstelle

Wie in Abschnitt 2.3.1.4 erläutert, kann der Versuchsleiter als zweiter Wizard genutzt werden (siehe Abbildung 2-14). Neben der Versuchsdokumentation sowie der Befragung des Probanden kommuniziert der Versuchsleiter über ein Tablet verdeckt mit dem Versuchsfahrer. In Abschnitt 2.3.2.3 wird das Tablet als Maßnahme zur Anwendung des Leitfadens beschrieben.

2.3.2.2 Einsatzmöglichkeiten und Limitationen des Wizard-of-Oz „Fond“

Gold et al. berichten bei diesem Wizard-of-Oz-Konzept von einer hohen Immersion, einem hohen gemessenen Vertrauen sowie Komfort- und Sicherheitsempfinden. Sie schlussfolgern daraus, dass diese Methodik geeignet ist, automatisiertes Fahren im Realfahrzeug abzubilden. Die Täuschung der Versuchspersonen funktioniert, solange dies beim Versuchsablauf beachtet wird und der Proband keinen technischen Hintergrund hat, um die Umsetzung und Funktionsweise der Methodik zu antizipieren (Gold et al., 2018).

Nach Feldhütter, Hecht und Bengler (2018) eignen sich Wizard-of-Oz-Fahrzeugkonzepte für Fragestellungen, die sich „mit Vertrauen und Akzeptanz (z.B. zur Auslegung/Beurteilung von Dynamik, Innenraumgestaltung), verschiedenen Systemvarianten (z.B. ABK/HMI oder Dynamiken), Kundenwert/Kundenerlebnis und dem Umgang/Verhalten mit fahrfremden Tätigkeiten auseinandersetzen“ (Feldhütter et al., 2018, S. 85). Weniger geeignet sehen sie Wizard-of-Oz-Konzepte für die Untersuchung von Systemgrenzen im Realverkehr und fordern im Allgemeinen stets die Kontrollierbarkeit des Fahrzeugs durch

den Probanden. Radlmayr et al. (2018) schlagen die Wizard-of-Oz-Methodik für die Untersuchung aller Automationsgrade vor, wenn instruierte und geschulte Versuchsfahrer eingesetzt werden können.

Neben der wissenschaftlichen Eignung wird der Einsatz dieses Wizard-of-Oz-Fahrzeuges durch die ausgestellte Zulassung eingeschränkt. Die Verwendung des genannten Versuchsträgers von Gold et al. wird im automatisierten Fahrmodus auf die zweispurige Autobahn A92 zwischen München und Plattling beschränkt. Dies entlastet den Versuchsfahrer, indem er bei konstanter Fahrt nur einen benachbarten Fahrsteifen absichern muss. Des Weiteren beinhaltet dieser Autobahnabschnitt keine Autobahnkreuze und ist gekennzeichnet durch eine konstant niedrige bis mittlere Verkehrsdichte. Auch der Zeitraum für die Versuchsfahrten wird durch die Ausnahmegenehmigung geregelt (Montag bis Mittwoch 9 – 17 Uhr, Donnerstag 9 – 15 Uhr, Freitag 9 – 12 Uhr). Dies sichert zum einen eine ausreichende Helligkeit während der Untersuchung, zum anderen werden die Hauptverkehrszeiten vermieden.

Neben den gesetzlichen Einschränkungen ergeben sich bei diesem Wizard-of-Oz-Konzept aufgrund der technischen Umsetzung folgende Limitationen und Risiken, die die Belastung für den Versuchsfahrer erhöhen:

- Das eingeschränkte Sichtfeld, die ungewohnte Sitzposition und Lenkung können sich negativ auf das Lenk- und Fahrverhalten des Wizards auswirken.
- Der Versuchsfahrer kann den Vorderraum und das Gespräch zwischen Versuchsleiter und Proband stets hören. Dies ist aus Sicherheitsgründen notwendig und in der Zulassung gefordert. Dadurch kann der Wizard jedoch unbewusst durch die Kritik und Kommentare der Versuchsperson beeinflusst werden (siehe „der kluge Hans“ in Kapitel 1.1).

Die Anwendung des in Abschnitt 2.3.1.4 beschriebenen generischen Leitfadens soll diesen Einschränkungen entgegenwirken.

2.3.2.3 Anwendung des Leitfadens für Wizard-of-Oz „Fond“

Tabelle 2-5 zeigt die umgesetzten Instruktionen des Leitfadens sowie die eingesetzten technischen Maßnahmen. Die instruierten Werte der Kriterien zur Dynamik und Strategie stammen aus der in Abschnitt 2.3.1.4 vorgestellten Literatur und sind durch Expertenbefragungen evaluiert.

Tabelle 2-5. Instruktion und technische Maßnahmen für Wizard-of-Oz im Fond

			Instruierter Wert	Technische Maßnahme
Längsdynamik	Abstand	Min. Abstand zum Vorderfahrzeug	40 m	Abstandsanzeige
	Geschwindigkeit	Max. Geschwindigkeit	130 km/h	Geschwindigkeitsregelung
	Beschleunigung	Max. Längsbeschleunigung	+ 1 m/s ²	Anzeige Längsbeschleunigung
			- 1 m/s ²	
	Max. Längsruck	+ 1 m/s ³		
		- 3 m/s ³		

Querdynamik	Beschleunigung	Max. Querbeschleunigung	$\pm 1 \text{ m/s}^2$	Anzeige Querb- beschleunigung
		Max. Querruck	$\pm 4 \text{ m/s}^3$	
Fahrstrategie	Sicht / Reichweite	Max. Sicht / Reichweite nach vorne	250 m	Abstandsanzeige
	Fahrstreifenwechsel	Min. Lückengröße	50 m	–
		Max. Frequenz der Fahrstreifenwechsel	5 pro 10 km	–
	Kooperationsverhalten			

Aufgrund der fehlenden Sensorik und fehlenden Messbarkeit des seitlichen Verkehrs, ist es in diesem Versuchsfahrzeug nicht möglich, die Lückengröße zu messen und zu visualisieren.

Multiwizard-Umsetzung

Als weitere technische Maßnahme dient ein verdeckter Kommunikationskanal zwischen Versuchsleiter und Versuchsfahrer. Der Versuchsleiter kann über seine Schnittstelle auf einem Tablet Anweisungen aktivieren, die dem Wizard über eine Sprachansage per Kopfhörer eingesprochen werden. Der Wizard hat somit eine effiziente Möglichkeit auf Anweisungen des Versuchsleiters zu achten, während er die Straße, die Versuchsperson sowie ihre Tätigkeiten beobachtet.

Durch diese Sprachansage an den Wizard und den verdeckten Kommunikationskanal kann ein Multiwizard-Ansatz umgesetzt werden. Abbildung 2-15 zeigt neben der Versuchsdokumentation die weiteren Aufgaben des zweiten Wizards. Der Versuchsleiter gibt dem Versuchsfahrer Anweisungen zum Fahrverhalten, er kann Verkehrssituationen erkennen und diese in der Aufzeichnung markieren und die Interaktion zwischen Fahrzeug und Versuchsperson steuern.

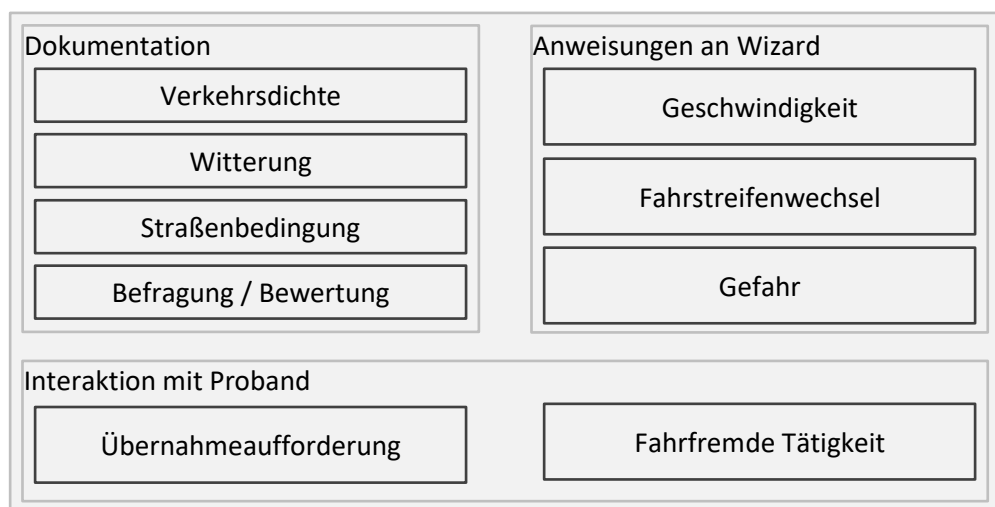


Abbildung 2-15: Tablet für Versuchsleiter / Interaktionswizard

2.4 Absicherung im Simulator

Die Fahrsimulation hat sich in den letzten Jahrzehnten zu einem etablierten Forschungsinstrument entwickelt. So werden schon seit einigen Jahren auch Automationseffekte auf den Nutzer in zahlreichen Laborstudien und Fahrsimulatoren untersucht. Abbildung 2-16 zeigt eine Analyse von Klüver (2016) zur Anzahl der Suchergebnisse („Number of Publications“) im Rahmen von Fahrsimulator-Publikationen seit 1971 („Timespan“). Unter anderem ist zu sehen, wie analog zur Fahrsimulation („Driving Simulator“) auch die Themen Fahrleistung („Driving Performance“) und Fahrverhalten („Driving Behavior“) häufiger behandelt werden.

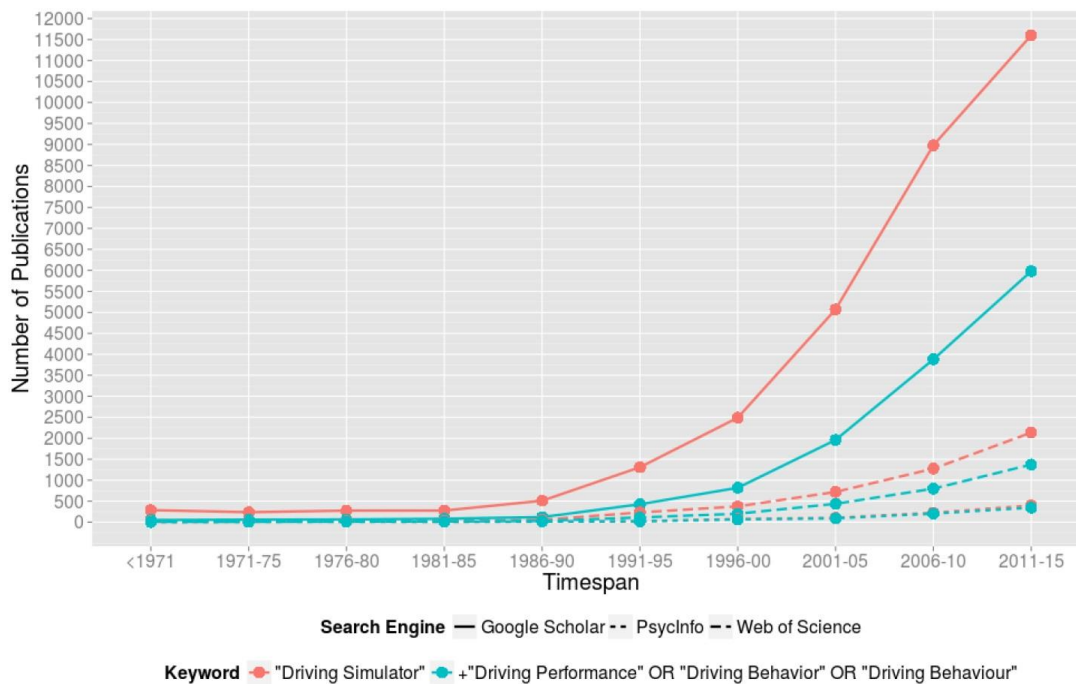


Abbildung 2-16: Anzahl der Suchergebnisse im Rahmen von Fahrsimulator-Publikationen (Klüver, 2016)

Die Fahrsimulation bietet hierbei neben einer reproduzierbaren Umwelt auch eine sichere Umgebung für die Absicherung einer Fahrfunktion. Bubb (2015c) schlägt den Einsatz von Versuchen im Fahrsimulator vor, wenn diese aus ethischen oder technischen Gründen nicht im Realfahrzeug durchgeführt werden können. Dies kann in der Anfangsphase der Entwicklung der Fall sein, wenn Innovationen für die Verkehrssicherheit oder den Fahrkomfort evaluiert werden, aber eine Gefährdung der Versuchspersonen oder anderer Verkehrsteilnehmer durch die Durchführung automatisierter Fahrmanöver im Realverkehr nicht ausgeschlossen werden kann. Gleichzeitig fordert Bubb (2015c) eine hohe Immersions- und Realitätsfähigkeit von der Fahrsimulation, um das Präsenzerleben der Versuchsperson intensiv zu vermitteln.

Bei der Auswahl des Fahrsimulators ist die wohl relevanteste Entscheidung die des Bewegungssystems. Dabei kann zwischen statischen und dynamischen Fahrsimulationen unterschieden werden. In den Jahren 1998 bis 2019 wurden rund 30% der experimentellen Studien zum automatisierten Fahren in dynamischen Simulatoren durchgeführt, wobei die Bewegungsrückmeldung besonders bei Untersuchungen zu Übernahmesituationen, Motion-Sickness sowie Komfortbewertungen erforderlich scheint (Schömig, Befelein, Wiedemann & Neukum, 2020). Auch Borojeni, Boll, Heuten, Bülthoff und Chuang (2018) heben den Einfluss der Simulatordynamik auf subjektive Kriterien des Nutzererlebnisses hervor.

Aufgrund des Bewegungssystems (mit mindestens sechs Freiheitsgraden), der hochauflösenden Projektion und großflächigen Visualisierung sowie der daraus resultierenden hohen Realitätsnähe von high-level Simulatoren wird der dynamische Fahrsimulator der BMW Group als potentielle Absicherungsmethodik im weiteren Verlauf dieser Arbeit genauer betrachtet (Jamson, 2011). Für eine detailliertere Betrachtung von Fahrsimulatoren, unterschiedlichen Bewegungssystemen und ihren Einsatzmöglichkeiten wird auf die Arbeiten von Negele (2007), Fisher et al. (2011) und Bruschetta und Minen (2018) verwiesen.

2.4.1 Aufbau und Funktionalität

Kemeny und Panerai (2003) haben drei sensorische Kanäle identifiziert, über die die Fahrer ihre Umwelt in einem Fahrsimulator wahrnehmen: den visuellen, den motorischen und den auditiven Kanal. Um eine hohe Realitätsnähe in einem Simulator zu gewährleisten, sollten alle drei Kanäle des Probanden angesprochen werden (Andersen, 2011).

Ein weites Sichtfeld und eine hohe Auflösung der Projektion verbessern den visuellen Reiz und helfen dabei die eigene Position in der Simulation, die Richtung und Geschwindigkeit besser abzuschätzen (Andersen, 2011). Der dynamische Fahrsimulator der BMW Group besteht aus einem realen Fahrzeugmodell, das in einer Kuppel steht (siehe Abbildung 2-17). Innerhalb der Kuppel wird ein Sichtfeld von 220° erzeugt und die Verwendung der Seitenspiegel sowie des Rückspiegels ermöglicht.

Die motorische Rückmeldung wird durch ein elektrohydraulisches Hexapod unterhalb der Kuppel erzeugt, welches sechs Freiheitsgrade realisieren kann. Durch die maximale Translation von 1,2 m und Rotation von 30° können Beschleunigungen – je nach Skalierung und Auslegung in Längs- oder Querrichtung – von bis zu 7 m/s² erzeugt werden.

Für den akustischen Reiz ist das Zusammenspiel aus den Geräuschen des Motors, Fahrwindes und des vorbeifahrenden Verkehrs entscheidend (Jamson, 2011). Die Geräuschumgebung wird mit Hilfe der Lautsprecher im Inneren des Fahrzeugmodells realisiert und kann richtungsgebunden und synchron zur Simulation eingespielt werden.



Abbildung 2-17: Dynamischer Fahrsimulator der BMW Group (VISCON GmbH, 2019)

Analog zur Wizard-of-Oz-Methodik muss auch im Fahrsimulator die Funktionalität des zu untersuchenden Systems nachgebildet werden. „In Bezug auf die Implementierung der automatisierten Fahrfunktion

muss die Simulation in der Lage sein, die relevanten Zustände des zu testenden Systems abzubilden“ sowie das Fahrverhalten und Fahrstrategie realitätsnah nachzustellen (Schömig et al., 2020, S. 13). Auch hier kann ein Leitfaden (siehe Abschnitt 2.3.1.4) behilflich sein, der das Verhalten der Automation anhand der Kriterien Längsdynamik, Querdynamik und Fahrstrategie beschreibt. Weiterhin können definierte Fahrscenen verwendet werden, in denen das Fahrzeug- und Funktionsverhalten detailliert beschrieben und die Übertragbarkeit auf die Realität gewährleistet wird. Für die Umsetzung der automatisierten Fahrfunktionen im Simulator wird in der vorliegenden Arbeit der genannte Leitfaden für beide Versuchsumgebungen verwendet, um so die Vergleichbarkeit zu garantieren.

2.4.2 Einsatzmöglichkeiten und Limitation eines Fahrsimulators

Im Automobil-Kontext wurden Fahrsimulatoren „zur Erforschung des Fahrerverhaltens (wie der Müdigkeit, Aufmerksamkeit oder dem Reaktionsvermögen) sowie zur Erprobung und Absicherung von Fahrerassistenzsystemen (wie der Wirksamkeit, Beherrschbarkeit oder einer statistische Nutzeranalyse) eingesetzt“ (Schöner, 2014, S. 836). Analog zu den in Abschnitt 2.2 genannten Vorteilen einer Fahrsimulation sehen Hartfiel, Tomaszek-Staude, Buchholz, Freseman und Stark (2018) zusammenfassend folgende drei Gründe für den Einsatz einer Untersuchung im Simulator:

- Geheimhaltungsrestriktionen verhindern Tests auf öffentlichen Straßen
- Fehlende Möglichkeit sicherheitsrelevante bzw. kritische Fahrmanöver zu testen
- Funktionen können in einem sehr frühem Entwicklungsstand untersucht werden

Im Rahmen der Entwicklung von automatisierten Fahrfunktion untersuchten Bellem, Klüver, Schrauf und Schöner (2017) den Einsatz der Fahrsimulation. Den Vorteil eines Simulators sehen sie in der kostengünstigen Umsetzung, der für den Probanden sicheren Umgebung und in der Möglichkeit Prototypen frühzeitig testen zu können. Für die Untersuchung des Fahrkomforts beim automatisierten Fahren weisen sie auf die Skalierung des Bewegungssystems des Simulators hin, um eine hohe relative und absolute Validität zu erreichen. Des Weiteren sehen sie die verhaltensbezogene Validität eingeschränkt und abhängig von der Forschungsfrage und dem Bewegungsmodell des Simulators (Bellem et al., 2017).

Um die Validität und die Eignung von Fahrsimulatoren zu bewerten, wird zwischen physikalischer und verhaltensbezogener Validität unterschieden. Die physikalische Validität beschreibt, inwieweit ein Fahrsimulator die Realität physisch reproduzieren kann. Die verhaltensbezogene Validität beschreibt inwieweit das Verhalten und Nutzererlebnis des Probanden mit dem auf einer realen Straße übereinstimmen (Bellem et al., 2017; Blana, 1996). Diese auch so genannte absolute Validität kann beispielsweise durch Eingewöhnungsphasen im Simulator verbessert werden. Demgegenüber beschreibt die relative Validität, ob im Fahrerverhalten dieselben Tendenzen wie im Realversuch herrschen, sich die absoluten Größen jedoch unterscheiden. Hierfür sind das Immersions- und Präsenzgefühl der Versuchsperson essentiell, wodurch sie sich in die virtuelle Realität eingebunden fühlt. Je mehr Sinneskanäle von einem Fahrsimulator angesprochen werden, desto höher ist schließlich die Immersion – „Grad des Eintauchens eines Nutzers in eine virtuelle Umgebung“ – und die Präsenz – „der Eindruck (...), ein Teil der virtuellen Welt zu sein“ (Bubb, 2015c, S. 589).

Auch Gold et al. weisen darauf hin, dass es sich bei der Fahrsimulation um ein „skaliertes und abstrahiertes Abbild der Realität [handelt], was Einflüsse auf das Fahrerverhalten und damit die Validität der Ergebnisse haben kann“ (Gold et al., 2018, S. 191). Um die Realität so gut wie möglich abbilden zu können,

ist eine detaillierte Simulationsumgebung notwendig. Hierzu zählen Objekte unterschiedlicher Größe, Textur und Bewegung, die bei der Abschätzung der eigenen Position, Richtung und Geschwindigkeit sowie der Tiefenwahrnehmung helfen (Andersen, 2011). Diese Orientierungspunkte in der Landschaft entlang der Straße führen unter anderem zu einem realitätsnahen Blickverhalten der Versuchsteilnehmer (Abendroth, Schreiber, Bruder, Maul & Maul, 2012). Fehlen diese Referenzpunkte, so verschlechtert sich die Wahrnehmung für Geschwindigkeiten, Abstände und zuletzt auch für Risiko und potentielle Gefahren (Abendroth et al., 2012; Andersen, 2011; Fisher et al., 2011; Kemeny & Panerai, 2003).

Da der Nutzer im automatisierten Fahrmodus nicht die Fahrverantwortung trägt, müssen die Hände nicht am Lenkrad sein und die Fahrszene nicht überwacht werden. Dies führt dazu, dass die Fahrdynamik nicht mehr über das Zusammenspiel aus visuellen Reizen aus der Fahrszene und haptischen Reizen vom Lenkrad wahrgenommen wird. Vielmehr ist hier der Körperkontakt zum Sitz und Interior des Fahrzeugs entscheidend. Dieser Unterschied zur Wahrnehmung beim manuellen Fahren muss bei der Entwicklung des Bewegungssystems eines Simulators beachtet werden, damit dieser optimal zur Untersuchung automatisierter Fahrfunktionen eingesetzt werden kann (Bruschetta & Minen, 2018).

Zusammenfassend stellen de Winter, van Leeuwen und Happee (2012) die Vor- und Nachteile von Versuchen im Fahrsimulator gegenüber solchen im Realverkehr wie folgt dar:

Vorteile gegenüber Realverkehr

In Kontrollierbarkeit, Reproduzierbarkeit und Standardisierung liegen unbestreitbar die Stärken von Untersuchungen im Simulator. So können in Abhängigkeit von der Fragestellung unter anderem das Verkehrsgeschehen, die Wetterbedingungen und die Straßenverhältnisse bestimmt oder variiert werden. Weiter können potentiell gefährliche Fahrszenen (auch mit laienhaften Versuchspersonen) gefahren und bewertet werden. Dies kann notwendig sein, wenn beispielsweise der Einfluss von Systemen auf die Nutzerreaktion in Gefahrensituationen untersucht werden soll.

Zuletzt bietet die Simulation auch die Möglichkeiten, die Versuchsteilnehmer effektiv und effizient unterschiedliche Fahrzeuge, Systeme oder Umweltbedingungen erleben zu lassen.

Nachteile gegenüber Realverkehr

Die am meisten berichtete Einschränkung von Fahrsimulatoren ist nach de Winter et al. die eingeschränkte physikalische und verhaltensbezogene Validität. Einerseits können Simulatoren mit schlechtem oder ohne Bewegungssystem zu einem unrealistischen Fahrverhalten führen. Andererseits kann ironischerweise die zuvor beschriebene erhöhte Sicherheit für Probanden gleichzeitig zu einem Nachteil der Fahrsimulation führen, wenn Versuchspersonen keine Gefahr durch ihr Verhalten mehr fürchten. So kann die geminderte Risikowahrnehmung in einer reduzierten absoluten Validität resultieren, wenn Fragestellungen untersucht werden sollen, für die die wahrgenommene Sicherheit eine große Rolle spielt.

Abschließend gilt es die Simulatorkrankheit zu beachten, die bei älteren oder sensiblen Versuchspersonen sowie bei einer besonders anspruchsvollen Fahrt entstehen kann. Dieses Übelkeitsgefühl entsteht, wenn die Simulation nicht zu der spürbaren Bewegung passt und die Sinnesorgane des Probanden irritiert werden. Die sogenannte Motion Sickness kann durch bestimmte Maßnahmen reduziert werden, jedoch kann die Simulatorkrankheit bei Auftreten der Symptome zum Abbruch des Versuches führen.

2.4.3 Anwendung der Fahrsimulation

Um die Vergleichbarkeit des untersuchten Nutzererlebnisses in beiden Versuchsumgebungen – Wizard-of-Oz im Realverkehr sowie Fahrsimulation – zu gewährleisten, wird beim Aufbau einer Simulatorstudie im Rahmen dieser Arbeit besonderer Fokus auf die folgenden Aspekte gelegt:

- *Automatisierte Fahrfunktion*
Analog zum menschlichen Versuchsfahrer im Wizard-of-Oz-Aufbau wird die automatisierte Fahrfunktion durch den Simulator anhand des in Abschnitt 2.3.2.3 vorgestellten Leitfadens und der entsprechenden Kriterien umgesetzt. Somit soll sich die Funktion unabhängig von der Versuchsumgebung in definierten Manövern identisch und realitätsnah verhalten.
- *Mensch-Maschine-Interaktion*
Ebenso werden im Fahrsimulator die identischen Anzeigen, Bedienelemente und Lenkrad wie im realen Fahrzeug verwendet. Dadurch soll der Einfluss eines veränderten Anzeige-Bedien-Konzeptes auf die Bewertung des Nutzererlebnisses vermieden werden.
- *Fahrszene*
Aufgrund des immensen Programmieraufwandes kann in der Fahrsimulation für die vorliegende Arbeit keine existierende Fahrszene ganzheitlich simuliert werden. Um das Nutzererlebnis jedoch vergleichbar zu halten, werden einzelne Fahrsituationen nachgebildet, die im Fokus der Bewertung stehen. Dabei werden die Verkehrsdichte, die Straßenbedingungen und die Umgebung möglichst realitätsgetreu nachempfunden.
- *Verkehrsteilnehmer*
Parallel dazu werden die genannten Fahrsituationen hinsichtlich dritter Verkehrsteilnehmer genau beschrieben. So können diese Verkehrsteilnehmer in die Simulation eingebunden werden und ein vergleichbarer Verkehrsfluss und das dazugehörige Empfinden realisiert werden.
- *Geräuschkulisse*
Zuletzt muss in der Fahrsimulation eine realitätsnahe Geräuschkulisse geschaffen werden. Da diese abhängig ist von der vorhandenen Verkehrsdichte, der Fahrbahn, dem Fahrtwind sowie dem verwendeten Fahrzeug, muss die Akustik im Einzelfall gemessen und nachgebildet werden.

3. Expertenbewertung des Nutzererlebnisses beim automatisierten Fahren

Das Ziel dieser Arbeit (siehe auch Abschnitt 1.1) ist es, Expertenbewertungen im Kontext des Nutzererlebnisses beim automatisierten Fahren zu untersuchen. Wie bereits erläutert sind Nutzerbefragungen für eine menschenzentrierten Entwicklung essentiell. Abhängig von der Entwicklungsphase, Geheimhaltung und möglicher Gefährdung der Teilnehmer kann die Einbindung zukünftiger Nutzer nicht immer realisiert werden. Wie valide sind dann jedoch Expertenbewertungen für das Erlebnis potentieller Nutzer? Abstrahieren Experten die Meinung der Nutzer? Unterscheidet sich ihr Verständnis eines positiven Nutzererlebnisses? Und zuletzt: sind sich alle Experten einig?

Zur Klärung dieser Fragen wird in dieser Arbeit im Folgenden zunächst auf den Begriff des Nutzererlebnisses und dessen Messbarkeit im Rahmen einer automatisierten Fahrt eingegangen. Anschließend wird der Begriff des Experten definiert und Limitationen von Expertenbefragungen identifiziert.

Wie von Körber, Eichinger, Bengler und Olaverri-Monreal (2013) vorgeschlagen, wird Gebrauchstauglichkeit als eine notwendige Vorbedingung für ein positives Nutzererlebnis anerkannt. Die vorliegende Arbeit setzt dies voraus und legt den Fokus in den folgenden Untersuchungen rein auf das Nutzererlebnis.

3.1 Nutzererlebnis

Neben der Gebrauchstauglichkeit (oder Usability) (DIN EN ISO 9241-11; Vollrath, 2015a) ist es für eine menschenzentrierte Entwicklung und Produktevaluation notwendig, die gesamthafte Erfahrung eines Nutzers mit einem Produkt zu erfassen (Körber & Bengler, 2013b). Die Konzept- und Produktentwicklung muss somit ihren Fokus auch auf das Erlebnis legen, das potentielle Nutzer bedeutungsvoll, nützlich und erfreulich empfinden (Battarbee, 2004). Das Nutzererlebnis (oder auch User Experience) wurde in der Vergangenheit zusammen mit dem Nutzungskontext bei Usability-Tests stärker einbezogen. Als Nutzungskontext versteht man hierbei das Zusammenspiel aus dem Nutzer, seiner Aufgabe, der Ausstattung sowie der physischen und sozialen Umgebung (DIN EN ISO 9241-210).

3.1.1 Definition – was ist Nutzererlebnis?

Obwohl Konsens bezüglich bestimmter einzelner Aspekte besteht, existiert für den Begriff des Nutzererlebnisses keine einheitliche Definition (Körber & Bengler, 2013b; Pettersson, Frison, Lachner, Riener & Nollhage, 2017). Durch seinen multidisziplinären Charakter führt der Sammelbegriff Nutzererlebnis zu zahlreichen Blickwinkeln, unter denen man ihn sehen und anwenden kann. Üblicherweise wird er in Verbindung mit einem interaktiven Produkt oder System definiert. So erstrecken sich existierende Definitionen von psychologischen bis hin zu ökonomischen Perspektiven (Roto, Law, Vermeeren & Hoonhout, 2011). Im Folgenden werden Definitionen aufgelistet, die für die vorliegende Arbeit von Bedeutung sind.

In Abschnitt 3.1.4 werden schließlich die gewonnenen Erkenntnisse angewendet und Einflussfaktoren für ein eigenes Verständnis von Nutzererlebnis identifiziert.

Die Definition der DIN EN ISO 9241-210 für das Nutzererlebnis mit einem interaktivem System umfasst „Reaktionen, die aus der tatsächlichen und/oder der erwarteten Benutzung eines Produkts, eines Systems oder einer Dienstleistung resultieren“ (S. 7). Es wird auch als Folge der bisherigen Erfahrung, Einstellung und Persönlichkeit des Nutzers verstanden.

Roto et al. (2011) beschreiben Nutzererlebnis als Erfahrungen, die Menschen durch die Nutzung und Begegnung mit einem System machen und die in einem speziellen Kontext geschehen. Dieser spezielle Kontext trägt wiederum zum Nutzererlebnis bei. Die Begegnung mit einem System kann hierbei sowohl aktiv geschehen, also im direkten persönlichen Gebrauch, als auch passiv, wie z.B. bei der Beobachtung anderer Menschen mit dem Produkt. Diese passive oder indirekte Erfahrung kann beispielsweise bereits vor der ersten aktiven Begegnung gesammelt werden, indem sich Erwartungen aus den Erfahrungen mit ähnlichen Technologien bilden oder aus den Erwartungen an die Marke sowie der Meinung anderer Nutzer stammen. Ähnlich können indirekte Erfahrungen nach der Nutzung – durch die retrospektivische Betrachtung des Erlebten oder die Änderung in der Einschätzung – gemacht werden.

Wie bereits angedeutet beziehen sich Roto et al. (2011) auch auf den zeitlichen Aspekt des Nutzererlebnisses. Sie unterscheiden hierbei zwischen dem antizipierten Nutzererlebnis (vor der Nutzung), dem momentanen Nutzererlebnis (während der direkten persönlichen Nutzung), dem gesamten Abschnitt der Interaktion (als Reflektion mit der gemachten Erfahrung) und zuletzt der Identifikation oder Distanzierung mit dem Produkt (durch die Summe aller gemachten Nutzperioden). Abbildung 3-1 zeigt die Zeitspanne der Nutzung eines System nach Roto et al. und beinhaltet die eben beschriebenen zeitlichen Abschnitte des Nutzererlebnisses.

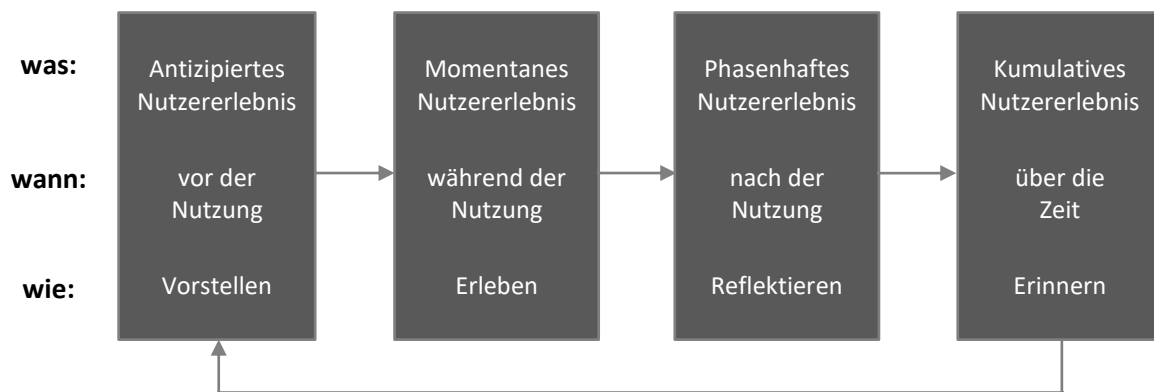


Abbildung 3-1: Zeitspannen der Produktnutzung nach Roto, Law, Vermeeren und Hoonhout (2011)

Roto et al. (2011) geben zu ihrer Definition zudem weitere relevante Faktoren an, die das Nutzererlebnis beeinflussen. So hat jedes Nutzererlebnis einen Anfang und ein Ende und ist

- abhängig von der Einzelperson,
- abhängig von der Vorerfahrung und den Erwartungen aufbauend auf diesen Vorerfahrungen
- und abhängig vom sozialen und kulturellen Nutzungskontext.

Hassenzahl und Tractinsky (2006) sehen das Nutzererlebnis als Kombination aus dem Zustand (Erwartungen, Bedürfnisse, Motivation und Stimmung) des Nutzers während einer Zeitspanne, den Eigenschaften des Systems (Komplexität, Absicht, Gebrauchstauglichkeit und Funktionalität des Produkts) und dem Kontext, in der die Interaktion geschieht. Ferner beschreibt Hassenzahl (2010) das Nutzererlebnis auch als einen Zeitabschnitt, den ein Nutzer mit seinen Sinnen, Emotionen und Handlungen durchlebt und richtet somit das Augenmerk auch auf die zeitliche Komponente des Erlebnisses.

In ihrer Arbeit haben Hassenzahl und Tractinsky des Weiteren begründet, dass es bei der menschenzentrierten Entwicklung eines Nutzererlebnisses nicht hauptsächlich um die Vermeidung von negativen Erlebnissen gehen soll, sondern vielmehr um die Erzeugung positiver Erfahrungen.

Aringer-Walch et al. (2018) gehen bei ihrer Auffassung auf die drei Definitionen von Hassenzahl und Tractinsky (2006), DIN EN ISO 9241-210 sowie Roto et al. (2011) ein und fügen hinzu, dass das Nutzererlebnis stets als ganzheitliches Ergebnis der Wechselwirkung zwischen dem Nutzer, dem Produkt, der Umwelt und dem Kontext zu verstehen ist, wobei auch hier das Erlebnis vor, während und nach der Benutzung unterschieden wird.

Alben (1996) definiert das Nutzererlebnis durch die Definition von Fragestellungen, die bei der Nutzung eines interaktiven Produktes beantwortet werden müssen. Sie nennt dies die Qualität des Erlebens und stellt folgende Checkliste auf, die bei der Entwicklung eines Produktes genutzt werden soll:

- Wie fühlt es sich in den Händen an?
- Wie gut versteht man wie es funktioniert?
- Wie fühlt man sich während man es nutzt?
- Wie gut nützt es der Nutzungsabsicht?
- Wie gut passt es in den Kontext, in dem man es nutzt?

Obgleich Ehn und Löwgren (1994) nicht den Begriff „Erlebnis“ verwenden, betonen sie bei einer menschenzentrierter Entwicklung ebenso die drei von Roto et al. verwendeten Ebenen (Nutzer, Produkt, Kontext): Ehn und Löwgren nennen diese die subjektive, objektive und die soziale Ebene. Alle drei sollen für den Erfolg eines Produktes adressiert werden. Auch Battarbee (2004) sieht all diese Aspekte als Teil des Nutzererlebnisses und als Grundgerüst für eine menschenzentrierte Entwicklung.

Ferner gehen Bubb, Vollrath, Reinprecht, Mayer und Körber (2015) im Kontext des Autofahrens auf rationale sowie emotionale Aspekte des Erlebens ein. Sie behandeln hierbei zwar die Konstrukte Komfort und Diskomfort, setzen diese jedoch der hedonischen und pragmatischen Qualität des Nutzererlebnisses nach Hassenzahl, Burmester und Koller (2003) gleich. Dabei halten sie fest, dass die Wahrnehmung von Komfort und Ästhetik von der Einzelperson sowie der Erfüllung ihrer Bedürfnisse abhängt.

Zuletzt definieren Körber und Bengler (2013a) ein positives Nutzererlebnis über die Erfüllung psychologischer Bedürfnisse bei der Nutzung eines Produktes. Dabei legen sie den Fokus auf den Nutzungskontext des Erlebnisses und identifizieren die Bedürfnisse Verbundenheit und Stimulation als Grundlage für eine positive Erfahrung. So kann einerseits die Verbundenheit der Nutzer mit einem Produkt Einfluss auf ihr soziales Erlebnis haben, wenn sie interaktiv gemeinsam mit dem Produkt ihre Umwelt erleben. Andererseits können Nutzer durch ein Produkt stimuliert werden, „neue Erfahrung während des Autofahrens“ zu machen (Körber & Bengler, 2013b, S. 6) oder Langeweile vorzubeugen.

3.1.2 Einflüsse auf das Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren

Ein positives Nutzererlebnis wird in modernen Fahrzeugen nicht mehr allein durch die Handlung des Fahrens selbst erzeugt. Wie Strasser (2012) bereits in seinen Untersuchungen gezeigt hat, schlüpft der Fahrer schon bei der Nutzung von Fahrerassistenzsystemen „quasi in eine Beifahrerrolle“ (Bubb & Bengler, 2015, S. 541) und beobachtet von dort das korrekte Verhalten des Systems. Die Produktentwicklung muss sich somit verstärkt auf die „Freude beim Fahren“ (Knobel, 2013, S. 6) konzentrieren und die gesamthafte Interaktion der Nutzer mit dem Fahrzeug beachten (Knobel, 2013). Hierfür gilt es zunächst die Einflüsse auf das Gesamterlebnis zu identifizieren, die Roto et al. (2011) in drei Kategorien klassifizieren: der Kontext, der Nutzer und das System. Abbildung 3-2 zeigt diese drei Einflussfaktoren und ihre Zusammenhänge.

Der Kontext: Roto et al. unterscheiden zwischen sozialem und physischem Kontext sowie zwischen Aufgaben- und Informationskontext. Auch wenn der Nutzer und das genutzte System gleich bleiben, kann sich das Nutzererlebnis abhängig vom Kontext ändern. Frison et al. (2019) identifizieren den Straßentyp, die Verkehrsdichte und die Verkehrssituation als relevante externe Kontextparameter für das Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren. Für Körber et al. (2013) ist der Kontext, der die gesamte Umwelt der Nutzungssituation beschreibt, eine wesentliche Charakteristik für das Nutzungserlebnis. Auch Tscheligi (2012) hält das Verständnis für den Nutzungskontext für essentiell, um das Erlebnis einer Autofahrt zu verstehen.

Der Nutzer: Wie in Kapitel 3.1.1 kann sich das Nutzererlebnis von Nutzer zu Nutzer ändern, da es von der Vorerfahrung, der Erwartung, der Stimmung, den mentalen und physischen Ressourcen und der Motivation zur Nutzung des Systems abhängig sein kann.

Das System: Zuletzt sind die Eigenschaften des genutzten Systems oder Produktes essentiell für das Nutzererlebnis. So können Systemeigenschaften manipuliert werden (Funktionen, Ästhetik oder Systemverhalten) oder individualisierbar sein (personalisierbare Einstellungen oder Anpassung an den Nutzer), um ein positives Erlebnis zu erzeugen.

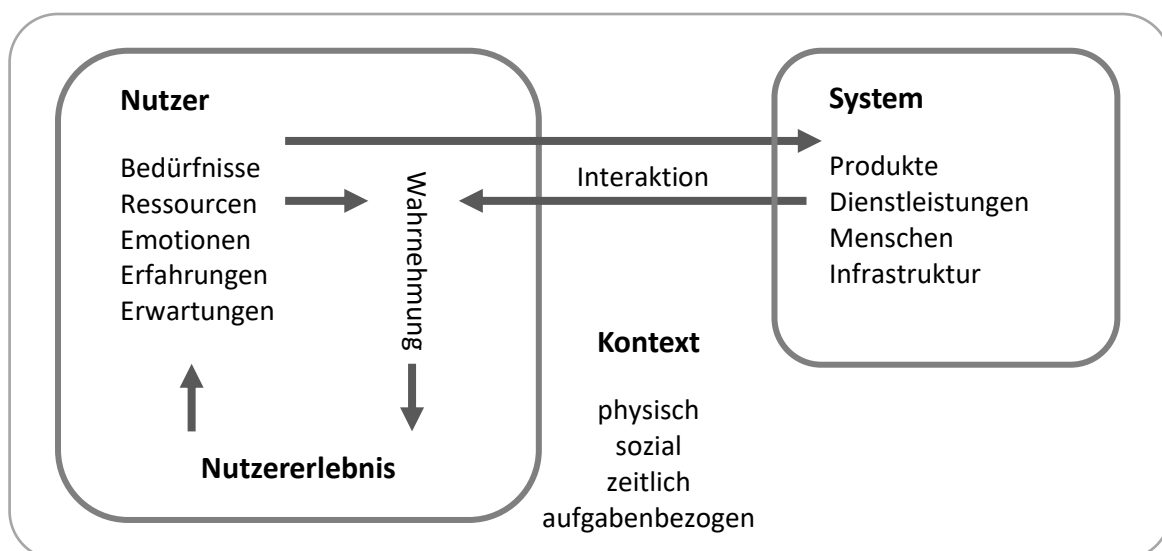


Abbildung 3-2: Zusammenfassung der Einflussfaktoren nach Roto, Law, Vermeeren und Hoonhout (2011)

Auch Karapanos, Hassenzahl und Martens (2008) gehen auf die drei oben genannten Aspekte ein. Wie in Abbildung 3-3 dargestellt, sehen sie zusätzlich den Zeitpunkt und die Dauer der Nutzung als wesentlichen Einflussfaktor und Grund für die Diversität im Nutzererlebnis. Mit dem zeitlichen Faktor soll hierbei der Fokus von pragmatischen Produktqualitäten (Funktionalität, Gebrauchstauglichkeit, Ausprobieren) auf hedonische Merkmale (Identifikation, Eigentum, Gewöhnung) gelegt werden.

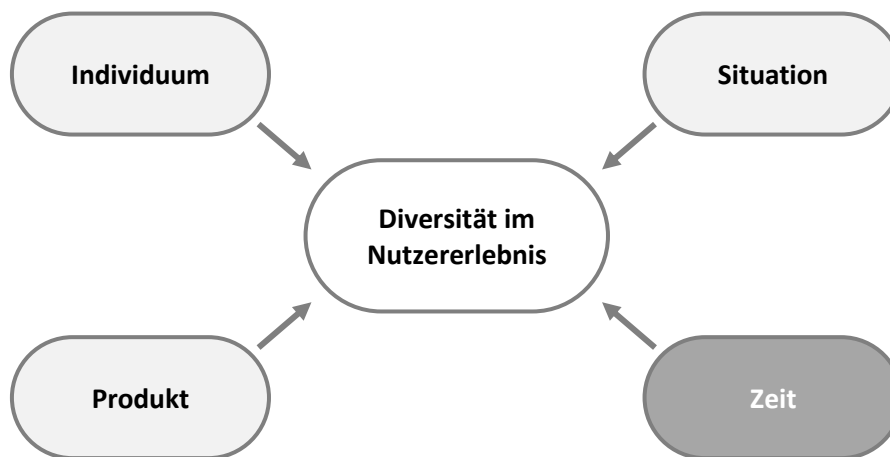


Abbildung 3-3: Vier Quellen der Diversität im Nutzererlebnis nach Karapanos, Hassenzahl und Martens (2008)

3.1.3 Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren messen

Analog zu einer allgemeinen Definition existieren kaum allgemeingültige und standardisierte Evaluationsmethoden für das Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren.

Wie in Kapitel 3.1.1 erläutert, heben Roto et al. (2011) die Relevanz des Zeitpunktes des Nutzererlebnisses hervor. Bevor ein Nutzererlebnis adressiert und gemessen wird, ist es unabdinglich die im Fokus stehende Zeitspanne des Erlebnisses zu klären. So kann momentanes Nutzererlebnis Informationen zu den Emotionen eines Menschen liefern, die aus der Interaktion mit einem System hervorgehen. Sobald längere Zeitspannen im Fokus stehen, werden die Einflüsse der momentanen Erlebnisse auf das Gesamterlebnis sichtbar. Ein besonders negatives Einzelerlebnis kann nach einer positiven Gesamtnutzung unterschiedlich stark ins Gewicht fallen und prägend in Erinnerung bleiben. Himmels et al. (2021) verdeutlichen dies und postulieren, dass situative Bewertungen von (negativen) Einzelerlebnissen sich nicht vollständig in der Gesamtbewertung der Fahrt widerspiegeln.

Eine Art und Weise, um Nutzererlebnis zu messen, ist der Einsatz von Fragebögen, die versuchen die emotionalen Aspekte der Nutzung eines Produktes zu erfassen. Ein Beispiel ist hierfür der AttrakDiff (Hassenzahl et al., 2003), bei dem die pragmatische (Funktionen) sowie hedonische (Emotionen) Qualität eines Produktes untersucht wird (Knobel, 2013). Die Abfrage über einen solchen Fragebogen findet retrospektivisch statt und bezieht sich im Moment der Befragung auf die zuvor erlebte Interaktionsphase. Dabei reflektieren die Befragten ihr Erlebnis und ihre gesammelte Erfahrung.

In retrospektivischen Befragungen – wie bei der Verwendung von Nachfragebögen – können Informationen bei der Messung des Nutzererlebnisses verloren gehen. Die Reflektion des eigenen Erlebnisses (siehe Abschnitt 3.1.1) wird verzerrt durch Strategien wie der „Peak-End-Regel“, bei der man die Erfahrung anhand der Höhepunkte und des Gefühls am Ende der Nutzung beurteilt (Körber & Bengler, 2013a).

Aus diesem Grund haben Körber und Bengler hierfür den Ansatz der momentanen Bewertung – im Automobilkontext – untersucht, bei der die Probanden in der jeweiligen Situation befragt werden und so ihr „momentanes Nutzererlebnis“ (Roto et al. (2011) bewerten. Auch Kahneman und Riis (2005) untersuchten das Nutzererlebnis während der eigentlichen Nutzung und haben gezeigt, dass es zwischen den aktuell empfundenen Gefühlen während des Erlebnisses und der Erinnerung daran einen signifikanten Unterschied gibt. Dies kann mit kognitiven oder motivationalen Verzerrungen begründet werden, die in Abschnitt 3.2.4 detailliert erläutert werden.

Die Methodik der momentanen Befragung wird oft in der Psychologie und Medizin angewendet und ist dort unter anderem als „Experience Sampling Method“ bekannt. Die Teilnehmer werden bei dieser Tagebuchmethode aufgefordert, relevante Informationen zu mehreren Zeitpunkten abzugeben, beispielsweise wie sie sich fühlen, woran sie denken oder wie sie sich verhalten (Hektner, Schmidt & Csikszentmihalyi, 2007; Larson & Csikszentmihalyi, 2014). Dabei besteht das Prinzip dieser Stichprobenerfassung darin „right then, not later; right there, not elsewhere“ zu befragen (Csikszentmihalyi & Larson, 2014, S. 339). Der Vorteil dieser ereignisbasierten Stichproben ist, dass „sie nicht auf Erinnerungs- und Rekonstruktionsleistungen der Versuchspersonen angewiesen sind“, gleichzeitig jedoch werden „die Befragten durch die häufigen Aufforderungen zur Selbstreflexion sensibilisiert“, wodurch sich ihr Verhalten ändern kann (Schlütz & Scherer, 2001, S. 147).

Bei der quantitativen Untersuchung des Nutzererlebnisses muss zuletzt auch dessen Messbarkeit an sich betrachtet werden. In ihrer Arbeit hinterfragt Law (2011) die grundsätzliche Messbarkeit eines Nutzererlebnisses und verlangt, dass diese Messungen drei Anforderungen erfüllen: sie müssen sinnvoll, aussagekräftig und valide sein. Angelehnt an Körber und Bengler sollen diese drei Anforderungen in der vorliegenden Arbeit beachtet werden: Die folgenden Untersuchungen sollen sinnvoll sein, indem sie das Erlebnis quantifizieren, die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen unterstützen und letztendlich zu einem positiven Nutzererlebnis mit dem System führen. Die Untersuchungen sollen aussagekräftig sein, indem alle Resultate und Aussagen die gemessenen empirischen Zusammenhänge wiedergeben. Und die Untersuchungen sollen valide sein, indem sie in klarem Zusammenhang mit anderen relevanten Konstrukten und den Rückmeldungen der Nutzer stehen sowie auf die Entwicklung des automatisierten Fahrens übertragen werden können (Körber & Bengler, 2013a).

3.1.4 Anwendung in dieser Arbeit

Im Rahmen der Versuchsreihen dieser Arbeit wird das Nutzererlebnis mit Hilfe folgender Aspekte angewendet und gemessen. Diese lehnen sich an die Einflussfaktoren nach Karapanos et al. (2008) an und beziehen den Kontext einer automatisierten Fahrt ein.

Produkt

Da das Verhalten der automatisierten Funktion Einfluss auf das Nutzererlebnis haben kann, muss dieses im Vorfeld festgelegt werden. Je nachdem wie sich das System verhält und wie es den Erwartungen und Bedürfnissen der Nutzer entspricht, kann die Nutzung zu einer positiven oder negativen Erfahrung führen. Über die Variation des Funktionsverhaltens soll in den folgenden Versuchen der Nachweis über den Einfluss auf das Nutzererlebnis erbracht werden. Hierzu werden unterschiedliche Fahrstrategien umgesetzt und das resultierende Erlebnis bewertet.

Nutzungskontext / Situation

Untersucht man die Automation und ihr Funktionsverhalten, muss dies in Abhängigkeit von der jeweiligen Fahrsituation geschehen. Die Erwartungshaltung der Nutzer kann sich abhängig von der Verkehrsszene unterscheiden und das Nutzererlebnis in dieser Situation beeinflussen. Insbesondere durch den Einsatz einer momentanen Erlebnisbewertung müssen Zeitpunkt und Fahrsituationen festgelegt werden, um die Gütekriterien der Messung im Realverkehr zu gewährleisten. Im Rahmen der Versuchsreihen werden somit unterschiedliche Fahrsituationen definiert, zu denen das Nutzererlebnis bewertet wird.

Zeit / Dauer

Im Rahmen der Versuchsreihen wird des Weiteren die Erlebnisbewertung vor, während und nach der Nutzung unterschieden. Es wird somit jeweils festgelegt zu welchem Zeitpunkt das Nutzererlebnis abgefragt wird und auf welchen Zeitraum sich die Bewertung bezieht. Aufgrund der Neuheit der Technologie wird davon ausgegangen, dass die Befragung vor der Nutzung eines automatisierten Fahrzeuges durch fehlende oder unkonkrete Erwartungen geprägt ist (siehe Abschnitt 1.1). Nach der Nutzung kann die Neuheit der Technologie zur unscharfen Bewertung in der Reflektion der Nutzer führen. Aufgrund des Risikos einer Verzerrung durch sowohl die fehlende Vorerfahrungen als auch die Peak-End-Strategie (siehe Abschnitt 3.1.3) wird besonderer Fokus auf die momentane Bewertung gelegt.

Individuum

Wie eben beschrieben können Vorerfahrung und Erwartungshaltung der Nutzer Einfluss auf ihre Erlebnisbewertung haben. In Kontext des automatisierten Fahrens können sich diese aus den Erfahrungen mit ähnlichen Technologien bilden oder aus den Erwartungen an die Marke sowie der Meinung anderer Nutzer stammen. Diese Erwartungen und Erfahrungen sind naturgemäß von Mensch zu Mensch sehr verschieden, wodurch die interindividuellen Eigenschaften der Nutzer einen eigenen Einflussfaktor darstellen. Neben der Vorerfahrung können dies des Weiteren die Einstellung der Nutzer zu automatisierten Systemen, die Fähigkeiten der Nutzer beim Autofahren und die Persönlichkeit sein (DIN EN ISO 9241-210).

Bedürfnisse

Zuletzt soll im Rahmen dieser Arbeit die psychologischen Bedürfnisse der Nutzer während einer automatisierten Fahrt identifiziert werden. Nach Körber et al (2013) ist die Erfüllung dieser Bedürfnisse die Basis für ein positives Nutzererlebnis. Mit Hilfe einer experimentellen Studie zu Beginn der Versuchsreihe sollen die relevanten Bedürfnisse definiert werden und im weiteren Verlauf die Messbarkeit und Vergleichbarkeit des Nutzererlebnisses ermöglichen.

3.2 Expertenbewertung

Nach der Definition des Nutzererlebnisses, seiner Messbarkeit und Anwendung in dieser Arbeit wird nun die Methodik der Expertenbewertung detailliert erläutert.

Im täglichen Leben ist unsere Gesellschaft abhängig von diversen Experten und ihren Urteilen. Galaske (2017) fasst hierbei unterschiedlichste Fachbereiche zusammen: Sei es bei der Bewertung von Weinen (Ashton, 2012), bei der Einschätzung des Klimawandels (Doria, M. Franca, Boyd, Tompkins & Adger, 2009) oder bei der Beratung innerhalb der Politik (Morgan, M. Granger, 2014). Das Vertrauen in Experten schafft dabei gleichzeitig ein Dilemma. Einerseits sind Laien oft nicht in der Lage, die Validität von Expertenurteilen einzuschätzen. Andererseits wissen Experten nicht notwendigerweise alles besser, treffen nicht immer ins Ziel und sind sich nicht immer einig. Diese Kontroversen führen somit zur Notwendigkeit Expertenbewertungen immer wieder zu validieren (Faulkner, Fleck & Williams, 1998).

O'Hagan et al. (2006) sehen den Prozess der Expertenauswahl als einen der wichtigsten Schritte bei der Expertenbewertung an, da die Validität einer solchen Befragung von der Persönlichkeit, der Erfahrung und dem technischen Hintergrund jedes einzelnen Experten abhängt. In Anlehnung an den Prozess von Simola et al. (2005) zur Risikoeinschätzung von Kernkraftwerken wird im folgenden Abschnitt zunächst der Begriff des Experten definiert, anschließend die Methode der Expertenbewertung sowie ihre Einsatzmöglichkeiten vorgestellt und zuletzt die Limitationen sowie die Anwendung in dieser Arbeit beschrieben.

3.2.1 Definition von Expertise

Analog zum Begriff des Nutzererlebnisses gibt es für den Term „Experte“ keine allgemeingültige Definition. Auch hier werden im Folgenden relevante Definitionen vorgestellt und anschließend diskutiert.

Die DIN EN ISO 5492 übersetzt den englischen Begriff ‚the expert‘ als Sachverständigen und definiert diesen als „eine Person, die aufgrund ihrer Kenntnisse oder Erfahrung über die erforderliche Sachkunde verfügt, um zu dem Sachgebiet Stellung nehmen zu können, zu dem sie zu Rate gezogen wird“ (S.9). Weiterhin werden Expertengutachter genannt, die durch ihr nachgewiesenes Feingefühl und mit ihrer umfassenden Schulung und Erfahrung in der Lage sind Bewertung von verschiedenen Produkten konsistent und wiederholbar durchzuführen. Diese Definition ähnelt dem Verständnis von Keeney und Winterfeldt (1989), nach dem Experten eine Meinung abgeben, die auf Wissen und Erfahrung basiert.

Galaske (2017) bezeichnet für seine Untersuchungen Experten als qualifizierte Beurteiler in einer Fragestellung und lehnt sich in seiner Definition und seinen Kriterien an den Expertenbegriff von O'Hagan et al. (2006) an. O'Hagan et al. sehen Experten als Personen, die ein Fachthema gut kennen und ihr Fachwissen organisieren und nutzen können. Weiterhin beschreiben sie, dass Experten Probleme mit Hilfe von fundierten Strategien lösen können (Chi, 2006; O'Hagan et al., 2006) und weniger auf deklaratives Wissen (Fakten) angewiesen sind als auf prozedurales Wissen (Zusammenhänge). Schließlich kann durch Experten Unsicherheit akkurat bewertet und ausgedrückt werden (Chi, 2006; O'Hagan et al., 2006). Auch Ferrell (1994) sieht die Stärke von Experten darin, mit ihrem fundierten Wissen unsichere Ereignisse detailliert adressieren zu können.

Nach Meyer, M. A. und Booker (2001) sind Experten Personen, die über Hintergrundwissen in einem konkreten Fachbereich verfügen und von Kollegen als qualifiziert für die Beantwortung von Fragen anerkannt werden. Sie bezeichnen eine Expertenbewertung auch als Expertenmeinung, Expertenvorhersage oder Expertenwissen.

Nielsen (1994) sieht den Unterschied zwischen Experten und Laien in der Erfahrung mit, dem Enthusiasmus für und dem Wissen über ein System. Sobald man ein tiefes Verständnis über die Struktur eines Systems erlangt hat, fällt es einem einfacher, Informationen zum System richtig zuzuordnen und zu interpretieren. Gleichzeitig führt dieser Vorteil auch zur Limitation einer Expertenbewertung, wenn das detailliertere Systemverständnis bei der Beurteilung nicht gewünscht ist. Mehr dazu in Abschnitt 3.2.4.

Gläser und Laudel (2010) verstehen Experten als Angehörige einer Funktionselite, die über besonderes Wissen und aufgrund ihrer Position über besondere Informationen verfügen. Sie beschreiben Experten als Quelle von Spezialwissen über die zu erforschenden Sachverhalte und Experteninterviews als Methode dieses Wissen zu erschließen. Analog zu O'Hagan et al. nehmen auch Gläser und Laudel Bezug auf die Wissensorganisation und Wissensnutzung, da Experten ihr besonderes Wissen weitergeben oder für die Lösungsfindung einsetzen können.

Chi (2006) sieht den Experten als Vorstufe zum Meister und definiert ihn durch seine ungewöhnlich genauen und zuverlässigen Urteile sowie durch seinen effektiven Umgang mit seltenen und schwierigen Problemen. Ein Experte ist auch jemand, der über besondere Fähigkeiten oder Kenntnisse verfügt, die auf umfangreichen Erfahrungen in Teilbereichen des Problemfeldes beruhen. Als Ergänzung wird ein Meister als Lehrer gesehen, der prädestiniert dazu ist, andere zu unterrichten, Standards zu setzen und Verfahren einzuführen, die von anderen genutzt werden. Dies entspricht auch der Definition von Hoffman, R. R. (1998).

Des Weiteren unterscheidet Chi zwischen absoluten und relativen Experten. Absolute Experten sind in einem bestimmten Themengebiet allen anderen Menschen messbar überlegen und setzen einen Standard für die gegenwärtige menschliche Leistungsfähigkeit (Chi, 2006; Galaske, 2017). Im Gegensatz dazu werden relative Experten stets im Vergleich zu Laien definiert. Dieser Ansatz setzt voraus, dass Fachwissen und Expertise ein Niveau ist, das Laien erreichen können, beide somit identische Kapazitäten und Anlagen besitzen. Experten und Laien unterscheiden sich somit nur im Niveau und der Organisation ihres Wissens. Aufgrund dieser relativen Annahme kann bei der Unterscheidung von Expertise die kenntnisstärkere Gruppe als Experten und die weniger sachkundige Gruppe als Laien betrachtet werden (Chi, 2006). Hierbei ist jedoch ein Schwellwert oder Cut-Off zu definieren, um beide Gruppen trennscharf voneinander abzugrenzen.

Experten identifizieren

Wie von O'Hagan et al. (2006) ausgewiesen, ist neben der Definition auch die Auswahl der Experten essentiell. Chi (2006) schlägt drei verschiedene Methoden vor, um einen absoluten Experten zu identifizieren:

- Retrospektivisch können die vergangenen Leistungen einer Person begutachtet werden. So können die verkauften Werke eines Musikproduzenten oder Komponisten herangezogen werden.

- Ein gegenwärtiger Ansatz ist es die aktuelle Leistung eines Experten zu bewerten, wie das Abschneiden eines Schachspielers bei einem Turnier.
- Als dritte Methode empfiehlt Chi einen unabhängigen Index, der auf einer abstrakten Aufgabe und der gemessenen Leistung beruht.

Angelehnt an diesen Auswahlprozess wird in Abschnitt 3.2.5 detailliert darauf eingegangen anhand welcher Kriterien Experten in dieser Arbeit identifiziert werden. Hierfür werden die genannten Definitionen gesammelt und eine Ableitung für die folgenden Versuchsreihen gemacht.

3.2.2 Methode der Expertenbewertung

Das Nutzererlebnis mit einem neuen Produkt kann durch Experimente mit potentiellen Nutzern in der frühen Entwicklungsphase untersucht und optimiert werden (siehe Kapitel 1.2). Besonders bei neuartigen Funktionen und Systemen ist aber oftmals das nötige theoretische Wissen noch nicht vorhanden und die Erwartungen der Nutzer sind unkonkret oder fehlen gänzlich (siehe auch antizipiertes Nutzererlebnis in Abschnitt 3.1.1; (Bubb, Bengler et al., 2015). Hier kann auf die Methodik der Expertenbewertung zurückgegriffen werden.

Im Allgemeinen können Expertenbewertungen als Repräsentation des Expertenwissens bezüglich einer technischen Frage zum Zeitpunkt der Befragung gesehen werden (Keeney & Winterfeldt, 1989). Expertenbewertungen liefern Informationen, wenn andere Quellen wie Messungen, Beobachtungen, Experimente oder Simulationen nicht verfügbar, teuer oder unpraktisch sind. „Vorgenommen durch eine geringe Anzahl von Experten [...] stellt diese Form der Beurteilung eine sehr zeit- und kostensparende Form der Bewertung dar.“ (Bubb, Bengler et al., 2015, S. 620). In der Literatur werden Expertenbewertungen für Entscheidungen herangezogen, bei denen erhebliche Unsicherheit besteht und ein echtes Expertenurteil für notwendig gehalten wird, um diese Unsicherheit zu adressieren und zu minimieren (O'Hagan et al., 2006). Die Unsicherheit entsteht hierbei durch fehlende Informationen (Simola et al., 2005) oder fehlende Erfahrungswerte (Meyer, M. A. & Booker, 2001).

Dabei muss zwischen zwei Arten von Unsicherheit unterschieden werden. Aleatorische Unsicherheiten basieren auf der Tatsache, dass es in der Umwelt natürliche Schwankungen sowie zufällige Prozesse gibt. Dies können beispielsweise die Ergebnisse beim Würfeln sowie Wettervorhersagen sein. Die epistemische Unsicherheit entsteht aus unvollständigem Wissen über eine Sache, die in sich nicht zufällig und im Prinzip erlernbar ist. Ein Beispiel hierfür ist die Unsicherheit über die Genauigkeit eines physikalischen Modells. Epistemische Unsicherheiten können – im Gegensatz zu aleatorischen – durch das Erheben weitere Daten und Informationen reduziert werden. Erhebungen fokussieren sich üblicherweise auf Unsicherheiten, die entweder rein epistemisch sind oder eine epistemische Komponente haben. (O'Hagan et al., 2006)

Stichprobengröße

Experten sind im Gegensatz zu Laien naturgemäß nur in einer deutlich geringeren Anzahl verfügbar und deutlich schwerer zu erreichen (Döring & Bortz, 2016). Gleichzeitig werden Expertenbewertungen meist bewusst mit einer geringen Anzahl von Experten durchgeführt, um Zeit und Kosten zu sparen (Bubb, Bengler et al., 2015). So finden Experteninterviews typischerweise mit einer Stichprobengröße von fünf (Meyer, M. A. & Booker, 2001) bis zwanzig Befragten statt (Ericsson, Charness, Feltovic & Hoffman,

2006). Untersuchungen mit geringen Stichprobengrößen bergen das Risiko, dass Fehleinschätzungen oder fehlerhafte Aussagen durch kleine Stichproben überrepräsentiert werden (Rossi et al., 2019). Aus diesem Grund müssen Daten aus Expertenbefragungen stets kritisch hinterfragt und mit alternativen Bewertungsmethoden erweitert werden (Meyer, M. A. & Booker, 2001). Dazu zählt unter anderem die Triangulation, bei der unterschiedliche Methoden auf eine Problemstellung angewendet werden, um jeweils gewisse Nachteile einzelner Methoden auszugleichen. Hierbei wird auf die Arbeiten von Frison (2020) und Pettersson et al. (2017) verwiesen.

Einsatzmöglichkeiten

Nach Meyer, M. A. und Booker kann man drei Szenarien zusammenfassen, in denen Expertenbewertungen herangezogen werden können:

1. Einschätzungen liefern zu neuen, seltenen, komplexen oder auf andere Weise wenig bekannten Phänomenen: Solche Phänomene können auch als unscharf oder als Phänomene mit hoher Unsicherheit beschrieben werden.
2. Zukünftige Ereignisse vorhersagen: Wenn qualitativ hochwertige Daten nicht verfügbar sind, erfordert das Vorhersagen zukünftiger Ereignisse oder Handlungen ein Expertenurteil.
3. Vorhandene Daten integrieren oder interpretieren: Expertenwissen ist häufig erforderlich, um qualitative Informationen oder Mischformen aus qualitativen und quantitativen Daten in einem Entscheidungsrahmen zu organisieren.

Des Weiteren bringen Expertenbewertungen nach Meyer, M. A. und Booker aus methodischer Sicht noch folgende drei Vorteile mit sich:

4. Sie können den Prozess der Problemlösung bei Experten analysieren, falls dieser unbekannt ist.
5. Man kann feststellen, welche Informationen in einem Problemfall bekannt sind und welches Wissen noch eingeholt werden muss.
6. Zuletzt können Expertenbewertungen die Kommunikation zwischen Experten fördern: So können Experten schnell feststellen, wie sich ihre Einschätzungen unterscheiden und können dies offen und objektiv diskutieren. Meyer, M. A. und Booker (2001) behaupten folglich, dass die Synergie aus dieser interpersonellen Diskussionen zu Ergebnissen führt, die sonst nicht erreicht worden wäre.

Der Kern dieser Arbeit befasst sich mit Expertenbewertungen zum Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren. Dieses Erlebnis ist aufgrund der neuen Technologie und dem Paradigmenwechsel im Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis ein wenig erforschtes Forschungsgebiet. Zwar gibt es bereits Daten zu Nutzerbewertungen von Fahrerassistenzsystemen, die bei der Prognose der Akzeptanz automatisierter Fahrzeuge im Markt helfen können. Durch die Möglichkeit der Abwendung der Fahrer und ihre neue Rolle als Nutzer, entsteht aber ein neues Phänomen, wodurch die Methodik der Expertenbewertung hier dem ersten Szenario nach Meyer, M. A. und Booker (2001) zugeordnet wird. Des Weiteren werden durch die Versuchsreihen Erkenntnisse zum Lösungsprozess der Experten zum automatisierten Fahren gesammelt (Szenario 4).

3.2.3 Anwendung in Wissenschaft und Industrie

Expertenbewertungen finden in einer Vielzahl an Forschungs- und Wirtschaftsbereichen Anwendung. Der folgende Abschnitt soll einen kurzen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten und Praktiken geben. Die unterschiedlichen Anwendungsbereiche werden anhand der zuvor vorgestellten Kategorien gegliedert.

Neue bzw. wenig erforschte Phänomene

In den frühen achtziger Jahren wurden Kraftstoffe wie flüssiges und komprimiertes Erdgas für die Verwendung in der Automobilindustrie vorgeschlagen, um als Konsequenz der Ölkrise alternative Treibstoffe zu finden. Da nur wenig darüber bekannt war, wie sicher diese neuen Kraftstoffe sein würden, schätzte eine Expertengruppe die relative Sicherheit ein, indem sie ihre physikalischen Eigenschaften der Treibstoffe in Kombination mit potenziellen Unfallszenarien berücksichtigte. (Krupka, Peaslee & Laquer, 1983)

Des Weiteren wurden 1989 Expertenurteile für die Risikobewertungen von Reaktoren verwendet, da valide Computerberechnungen noch nicht verfügbar waren. Im Rahmen einer Studie wurden hierbei Abschätzungen für seltene Reaktorunfälle anhand von bestehenden Analysen zur Unfallhäufigkeit und Unfallverlauf gemacht. Die angewendete Methodik und ihre Ergebnisse waren ein bedeutender Fortschritt bei der Eindämmung von Schäden an Reaktorkernen und verbesserten risikobasierte Sicherheitskonzepte von Kernkraftwerken. (Ortiz et al., 1991)

Zukünftige Ereignisse vorhersagen

Sind keine Vergleichsdaten für Ableitungen verfügbar, müssen Experten anhand ihrer Erfahrung prognostizieren. Dies ist besonders häufig in der Ökonomie der Fall. So werden Risikoexperten innerhalb von Versicherungen eingesetzt, um besonders seltene Naturereignisse und daraus resultierende Schäden abzuschätzen und die Gebühren zu bepreisen (Cabantous, Hilton, Kunreuther & Michel-Kerjan, 2011). Unternehmen verlassen sich des Weiteren häufig auf Expertenwissen, um den Markt und Absatz für neue Produkte zu prognostizieren. Dabei können Volkswirte, Ökonomen und Marktforscher auf Verkaufszahlen ähnlicher Produkte zurückgreifen und mit Befragungen und Simulationsmodellen kombinieren (Ericsson et al., 2006). Auch erfahrene Schachspieler nutzen ihre Expertise zur Vorhersage. Sie prognostizieren Spielzüge, indem sie Gedächtnis, Wahrnehmung und Erfahrung für die Problemlösung kombinieren (Gobet & Charness, 2006).

Daten interpretieren

In vielen Bereichen sind bereits Informationen verfügbar, die jedoch durch Experten kombiniert, validiert und interpretiert werden müssen. Historiker verwenden Informationen unter anderem aus Museen, Archiven, Bibliotheken, Biographien, Gemälden oder Hochzeits- und Geburtsurkunden, um geschichtliche Ereignisse und Zusammenhänge zu rekonstruieren (Voss & Wiley, 2006). Mediziner interpretieren in ihrer Diagnostik eine Reihe an qualitativen Aussagen von Patienten zusammen mit quantitativen oder qualitativen Testergebnissen, um auf ihre Diagnose zu schließen (Norman, Eva, Brooks & Hamstra, 2006). Zuletzt analysieren Verkehrswissenschaftler die Mobilität mit privaten oder öffentlichen Verkehrsmitteln anhand von Videoauswertungen, Langzeitbeobachtungen oder Einzelbefragungen, um Straßenplanungen zu optimieren oder den Einsatz von öffentlichen Verkehrsmitteln an die Anforderungen der Bürger anzupassen (Durso & Dattel, 2006).

3.2.4 Limitationen der Expertenbewertung

Wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben sollen Vorhersagen von Experten nur wenig Zeit und Geld erfordern, gleichzeitig akkurate Ergebnisse erzielen und den wissenschaftlichen Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität genügen. Jedoch bieten Expertenbewertungen aufgrund ihrer informellen Art stets Nährboden für kontroverse Diskussionen. Ein Beispiel für Kontroversen bezüglich Expertenurteilen betrifft beispielweise Psychologen und Psychiater, die als Sachverständige in Gerichtsverfahren dienen. So haben Faust und Ziskin (1988) bereits in den 80er Jahren in Studien aufgezeigt, dass Sachverständige nicht genauer sind als Laien. Im untersuchten Fall war ihre Aufgabe die Neigung eines Einzelnen zu künftiger Gewalt vorauszusagen. Faust und Ziskin kritisierten besonders die fehlende Reliabilität und Validität, die diese Experten bei Ihrer Entscheidungsfindung aufzeigten.

Heuristik und Bias

Solche Situationen zeigen, dass auch Fachleute sehr anfällig für kognitive Verzerrungen sind, die für den Menschen üblich sind. Experten unterliegen den gleichen kognitiven und motivationalen Verzerrungen wie andere Menschen, wenn bestimmte vorbeugende Maßnahmen bei der Erhebung nicht angewandt werden (Meyer, M. A. & Booker, 2001). Chi (2006) schlussfolgert sechs potentielle Risiken und Verzerrungen, die bei Befragungen von Experten auftreten können:

1. Ihr Fachwissen beschränkt sich nur auf einen bestimmten Bereich.
2. In diesem Fachbereich können sie in ihrem Urteil jedoch übermäßig selbstsicher sein.
3. Sie übersehen Details, die für die Problemlösung nicht relevant scheinen.
4. Sie reagieren unflexibel auf veränderte Problemstellungen.
5. Sie können die Perspektive von Laien nicht richtig einnehmen und treffen ungenaue Vorhersagen hinsichtlich der Leistung von Laien.
6. Sie sind anfällig für Bias, welche die wohl schwerwiegendste Limitation ist.

Zusammenfassen kann man diese Risiken in den essentiellen Limitationen der Expertenbefragung: Heuristik und Bias. Meyer, M. A. und Booker (2001) definieren diese als Voreingenommenheit, wodurch es zur Verzerrung des Ergebnisses kommt. Ihre Definition impliziert, dass das, was nicht voreingenommen ist oder durch Bias verzerrt ist, der Realität und Wahrheit entspricht. Die Schwierigkeit besteht jedoch darin zu erkennen, welche Ergebnisse von Heuristik und Bias betroffen sind und welche nicht. Möchte man untersuchen, wo und in welchem Ausmaß es zu einer Verzerrung kommt, ist somit stets eine Referenz zum Vergleich der Ergebnisse notwendig.

Nach Meyer, M. A. und Booker können zwei Formen von Verzerrungen unterschieden werden:

- Eine *kognitive Verzerrung* bezeichnet eine „mentale Abkürzung“, die es Menschen erlaubt schnell und effizient Lösungen auch für komplexe Probleme zu finden, wenn gleichzeitig nur begrenzte Zeit und Wissen verfügbar sind (Galaske, 2017). Dies kann an der begrenzten Menge an Informationen liegen, die Menschen verarbeiten oder sich erinnern können (Meyer, M. A. & Booker, 2001).
- Zu einer *motivationalen Verzerrung* kommt es, wenn Experten bewusst oder unbewusst ihre Aussagen anpassen, um den Interviewern zu imponieren oder besonders gute Ergebnisse zu schaffen.

Diese Anpassungen im Denkprozess oder der Lösung wird oft durch Bedenken hinsichtlich der sozialen Akzeptanz ihrer Antworten hervorgerufen (Meyer, M. A. & Booker, 2001).

Die motivationale Verzerrung hat häufig auch berufliche Hintergründe. Experten sind oftmals gleichzeitig Mitarbeiter des Unternehmens, in dem die Befragung stattfindet. Der Einsatz von eigenen Mitarbeitern kann jedoch Ergebnisse verzerren, da diese sich überdurchschnittlich stark mit den Produkten des Unternehmens identifizieren und voreingenommen sein können. Des Weiteren ist die Wahrscheinlichkeit für sozial erwünschtes Verhalten beim eigenen Arbeitgeber besonders hoch (Schömig et al., 2020).

Kritischere Bewertung

Nehmen Experten in ihrer beruflichen Aufgabe eine besonders kritische oder achtsame Rolle ein, kann dies ebenso zu motivationalen Verzerrungen führen. „Generell sollten die Teilnehmer eines Versuchs keinerlei Interesse daran haben, dass das jeweilige zu testende System im Versuch besonders gut oder schlecht abschneidet.“ (Schömig et al., 2020, S. 12). Experten können sich jedoch verpflichtet fühlen, ein Produkt besonders kritisch zu begutachten, um mögliche Fehler und Auffälligkeiten zu entdecken.

Fehlende Übereinstimmung

Üblicherweise sollen sich Experten aufgrund ihrer Fachkenntnis in Befragungen untereinander einig sein und eine geringere Streuung in ihren Lösungen als Laien erzeugen (Galaske, 2017). Auf der anderen Seite wird Laien nachgesagt „aufgrund mangelnder Erfahrung [mit einem Produkt] Ergebnisse mit großen Streuungen zu produzieren (Müller, T. A., 2015, S. 146). Dennoch kann es vorkommen, dass Experten sich widersprechen oder zu verschiedenen Lösungen kommen. Dies kann daran liegen, dass die Fragen unterschiedlich interpretiert werden oder unterschiedliche Lösungsansätze und –prozesse verwendet werden.

Größere Erfahrung

Zuletzt haben Experten durch ihre intensive Nutzung eines Systems einen zeitlichen Vorsprung gegenüber Nutzern und können das System deswegen anders wahrnehmen. Karapanos et al. (2008) haben festgestellt, dass sich die Wahrnehmung der Qualitäten eines Produktes bei Nutzern über die Zeit verändert. Diese Veränderung resultiert aus der Gewöhnung an das Produkt sowie der nachlassenden Begeisterung durch das Produkt. So gewichten Nutzer in unterschiedlichen Phasen der Nutzung die Qualitäten und Merkmale des Systems unterschiedlich stark. Im Erstkontakt mit einem System beispielsweise liegt der Fokus auf der Gebrauchstauglichkeit und der Stimulation (siehe Abschnitt 3.1.1) durch das Produkt (Karapanos et al., 2008). Des Weiteren kann es bei Laien vor dem Erstkontakt mit einem automatisierten System zu einer *Algorithmus Aversion* kommen, bei der Nutzer Maschinen grundsätzlich nicht trauen. Dieser Effekt tritt besonders dann auf, wenn Menschen beobachten wie Maschinen einzelne Fehler erzeugen oder sich irren, obwohl die Algorithmen gesamthaft die besseren Entscheidungen treffen (Dietvorst, Simmons & Massey, 2015). Dies führt folglich dazu, dass Experten über die Zeit der Entwicklung eines Systems – und den damit einhergehenden Tests und Nutzungen – ihre Perspektive und ihren Fokus auf die Qualitäten eines Systems im Vergleich zu Laien stark ändern.

„a study is open to criticism unless it addresses bias“ (Meyer, M. A. & Booker, 2001, S. 41)

All diese Verzerrungen können die Qualität der Ergebnisse sowie ihren Einfluss auf die Problemlösung mindern. Auch die Glaubwürdigkeit und Plausibilität der Untersuchung kann darunter leiden. Somit ist

es unabdingbar, die Risiken solcher Verzerrungen zu adressieren und zu minimieren, unabhängig davon, ob diese Verzerrungen tatsächlich auftreten.

Zusammenfassend ist es bei Expertenbewertungen stets notwendig die tatsächliche Leistung und Validität in jedem Einzelfall zu untersuchen, um die Vor- und Nachteile abwägen zu können (Kahneman & Klein, 2009). Aufgrund der bekannten und unbekanntenen Einflussfaktoren auf das Urteil von Experten, muss die Methode der Expertenbewertung für jeden Einsatzzweck validiert werden (Galaske, 2017).

3.2.5 Anwendung in dieser Arbeit

Wie alle Versuche müssen auch Expertenbewertungen den wissenschaftlichen Gütekriterien der Objektivität, Reliabilität und Validität genügen. Angelehnt an das Vorgehen von Galaske (2017) soll in Vorbereitung auf die folgenden Versuchsreihen nochmals auf die Gütekriterien hingewiesen werden, um im Anschluss Maßnahmen zur ihrer Sicherstellung festzulegen.

- *Reliabilität*
Expertenurteile sind von einer Vielzahl an Faktoren abhängig, die nicht Teil des eigentlichen Untersuchungsgegenstandes sind, was wiederum zu einer erhöhten Varianz der Urteile führen kann. Somit ist es notwendig, die davon betroffene Reliabilität der Expertenurteile stets zu untersuchen.
- *Objektivität*
Da wie bei Laien Expertenurteile auch von individuellen Eigenschaften und Einstellungen abhängen können, ist es wichtig, die Unterschiede im Urteilsverhalten innerhalb der Experten zu bestimmen. Falls die Urteile der Experten bei gleichbleibenden Untersuchungsgegenstand nicht zusammenhängen, hat dies eine Verringerung der Objektivität zufolge, da das Ergebnis der Studie dann nicht vom Untersuchungsgegenstand, sondern von den befragten Experten abhängt.
- *Validität*
Zuletzt ist es notwendig die Validität der Expertenurteile zu untersuchen, um festzustellen, in welchem Maße Experten die Urteile von Laien vorhersagen und abstrahieren können. Ziel der Untersuchung soll eine Abschätzung (durch Experten) des subjektiv empfundenen Erlebnisses von Laien beim automatisierten Fahren sein.

Zur Sicherstellung dieser Kriterien müssen im Vorfeld einer Expertenbewertung alle Rahmenbedingungen definiert werden. Wie in zahlreichen Studien und Vorträgen beschrieben, bestehen Expertenbefragungen stets aus den folgenden Stufen: Definition der Expertise, Auswahl und Identifikation der Experten, Erhebung und Auswertung (Fischhoff, 1981; Galaske, 2017; Meyer, M. A. & Booker, 2001; O'Hagan et al., 2006; Simola et al., 2005). Analog hierzu werden im Folgenden neben der Definition und Erreichbarkeit von Experten auch die Durchführung der Expertenbewertung und Maßnahmen gegen mögliche Verzerrungen geklärt.

Expertendefinition

Wie von Bubb und Bengler et al. (2015) gefordert, ist bei jeder Expertenbewertung „genau zu dokumentieren, worin die Expertise der Beurteiler besteht und in welcher Form sie nachgewiesen werden kann.“ (S. 620). Für die Versuchsreihen dieser Arbeit werden aus den in Abschnitt 3.2.1 vorgestellten Definition

Kriterien für einen Experten zur Bewertung automatisierter Fahrfunktionen (siehe Abschnitt 2.1) abgeleitet. Im Fokus stehen somit Experten, deren Aufgabe es ist, die Automation während der Fahrt hinsichtlich der Nutzeranforderungen zu bewerten und abzusichern. Diese auch sogenannten „Erprober“ werden für die anschließenden Expertenbewertungen durch die folgenden Kriterien definiert. Diese Kriterien verfolgen nach Chi (2006) einen retrospektivischen sowie gegenwärtigen Ansatz.

- *Ausbildung und Training*

Alle Experten verfügen über ein abgeschlossenes Studium der Ingenieurwissenschaften. Des Weiteren haben alle Experten Ausbildungen durchlaufen, um automatisierte Fahrfunktionen in realen Fahrzeugen bewerten und Fahrzeuge auch in dynamischen Grenzbereichen kontrollieren zu können.

- *Profession und Erfahrung*

Alle Experten haben die berufliche Aufgabe, in der sie Fahrerassistenzsysteme oder automatisierte Fahrfunktionen bewerten und absichern. In dieser Rolle haben Sie eine mindestens dreijährige Erfahrung und sind mit dem Prozess der Bewertung von Automationssystemen vertraut.

- *Fachwissen und Problemlösung*

Alle Experten verfügen über ein detailliertes und überdurchschnittliches Fachwissen zu Fahrerassistenzsystemen. Mit diesem Spezialwissen können sie die Funktionalität beschreiben, mögliche Fehler identifizieren und Fehlerquellen zuordnen. Durch ihre absolute und relative Expertise sind sie in der Lage, Andere im Bereich der Produktbewertung zu unterrichten.

Im konkreten Fall der folgenden Versuchsreihen stammen alle Experten aus der Abteilung zur Erprobung und Absicherung von Fahrerassistenzsystemen. Diese Zuordnung zu einer speziellen Fachgruppe erleichtert die Gewährleistung der definierten Expertenkriterien.

Expertenanzahl

Ergebnisse im Rahmen der Expertenforschung legen nahe, dass in der Regel fünf bis zehn Spezialisten ausreichen, um den Großteil des Fachwissens und der Meinungsbreite abzudecken. Abhängig von der Problemstellung können noch weitere Generalisten hinzugefügt werden (Doria, M. Franca et al., 2009; Keeney & Winterfeldt, 1991; O'Hagan et al., 2006). Der begrenzende Faktor bei der Auswahl der Experten ist hauptsächlich die Erreichbarkeit und Verfügbarkeit der Experten (siehe Abschnitt 3.2.2). Aufgrund der dreiteiligen Versuchsreihe dieser Arbeit wird eine Anzahl von acht Experten festgelegt. Hierdurch kann gewährleistet werden, dass an allen Versuchen stets unterschiedliche Experten und Laien teilnehmen.

Form der Erhebung

Um besonders motivationale Verzerrungen zu vermeiden, muss die entsprechende Form der Erhebung gefunden werden. Bei der Erhebungsform kann zwischen einem direkten Interview und Fragebögen gewählt werden (O'Hagan et al., 2006). Direkte Interviews sind bei einer Erhebung mit nur einem Experten die effektivste und effizienteste Form der Erhebung. Die Nutzung eines Fragebogens hat bei einer Erhebung mit mehreren Experten den Vorteil, dass jeder Experte dieselben Informationen erhält und dieselben Fragen beantwortet. Hierbei besteht jedoch die Schwierigkeit, die Anweisungen und Fragen für jeden verständlich zu formulieren (O'Hagan et al., 2006). Insgesamt muss jedoch stets die Freiheit jedes Experten sichergestellt sein. „Each expert should be free to make this characterization [of the problem areas]

independently of decisions by others“ (Meyer, M. A. & Booker, 2001, S. 42). Aus diesem Grund werden in den folgenden Versuchen Einzelbefragungen mit halbstrukturierten Interviews durchgeführt (Döring & Bortz, 2016). Dabei werden zuvor validierte Fragebögen eingesetzt, die die Reliabilität und Objektivität der Untersuchung gewährleisten sollen.

Bias und Verzerrung handhaben & De-Biasing

Die Form und Durchführung der Erhebung kann auch die Anwendung von Heuristiken und das Auftreten von Bias begünstigen oder hervorrufen, da der Interviewer Einfluss auf die Problemlösungen oder Antworten der Experten haben kann (Meyer, M. A. & Booker, 2001). Aus diesem Grund haben Meyer, M. A. und Booker Maßnahmen zum De-Biasing aufgestellt, durch die das Bewusstsein für Verzerrungen geschaffen und der Einfluss auf ihre Ergebnisse minimiert werden soll:

1. Antizipieren, welche Verzerrungen auftreten können
2. Anpassen der Befragung, um sie weniger anfällig für die erwartete Verzerrung zu machen
3. Experten auf die möglichen Verzerrungen aufmerksam machen
4. Auftreten von Verzerrungen dokumentieren und diesen entgegenwirken
5. Die Ergebnisse besonders auf das Auftreten von Verzerrungen auswerten

In den anschließenden Versuchsreihen können sowohl kognitive wie auch motivationale Verzerrungen auftreten. Es kann bei Experten wie Laien vorkommen, dass sie während einer automatisierten Fahrt nicht alle Aspekte, die zu einer vollständigen Bewertung des Erlebnisses notwendig sind, wahrnehmen, sich erinnern oder eine Meinung dazu haben. Somit können beide gleichermaßen mentale Abkürzungen bei der Bewertung durchlaufen und kognitiv verzerren. Da die Forschungsfrage dieser Arbeit aber den Unterschied der kognitiven Verzerrung zwischen Experten und Laien implizit beinhaltet (verzerren Experten und Laien ihre Erlebnisbewertung unterschiedlich?), steht diese Art des Bias besonders im Fokus.

Eine mögliche motivationale Verzerrung wirkt sich im konkreten Fall gravierender aus, da die eingesetzten Experten – im Gegensatz zu den Laien – Mitarbeiter des Unternehmens sind und beruflich eine besonders kritische Rolle einnehmen. Somit kann die soziale Akzeptanz hier einen überdurchschnittlich hohen Einfluss haben. Diese Verzerrung soll wie vorgeschlagen durch Sensibilisierung der Experten – hinsichtlich des möglichen Unterschieds zu den Laien – minimiert werden. Die Experten werden im Vorfeld der Befragung aufgefordert, sich in die Rolle der Laien zu versetzen und die Erlebnisbewertung der Nutzer zu abstrahieren.

Nichtsdestotrotz können Verzerrungen stets auftreten und „sich nicht durch allgemeine Manipulationen beheben lassen“ (Galaske, 2017, S. 27). Somit müssen Methoden des De-Biasing im Rahmen von Studien angewendet werden, schützen jedoch nicht gänzlich vor Bias und Heuristik (Fischhoff, 1981; Galaske, 2017; Meyer, M. A. & Booker, 2001; O'Hagan et al., 2006).

4. Versuchsreihen und Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Versuchsreihen und die resultierenden Erkenntnisse vorgestellt und diskutiert. Zunächst wird eine explorative Studie zum Thema Dynamikwahrnehmung und –bewertung (Studie 1) im Realverkehr behandelt. Die beiden folgenden Studien 2 und 3 bauen auf den Ergebnissen auf und untersuchen das Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren abhängig von der Expertise des Nutzers. Dabei kommen zwei unterschiedliche Versuchsumgebungen zum Einsatz.

In Anlehnung an Müller, T. A. (2015) stellt eine tabellarische Kurzübersicht zu Beginn jeder Studie die wichtigsten Details dar. Diese setzen sich zusammen aus der konkreten Fragestellung, der verwendeten Methodik, den variierten Parametern und den aufgestellten Hypothesen.

4.1 Statistische Auswertung

Alle nachfolgenden Auswertungen, statistischen Tests und grafischen Darstellungen wurden mit RStudio (Version 1.1.463) erstellt.

Anzahl der Versuchsteilnehmer

Für den statistischen Nachweis eines Effektes muss eine ausreichend große Stichprobe gewählt werden. Der optimale Stichprobenumfang kann im Vorfeld des Versuches mittels eines vorher festgelegten α - und β -Fehlers ermittelt werden. Des Weiteren muss hierfür die Größe des untersuchten Effektes mit Hilfe von Erfahrungswerten oder Vorstudien abgeschätzt werden (Döring & Bortz, 2016; Vollrath, 2015b).

Experten- und Laienstichprobe

Die Forschungsfragen dieser Arbeit und die Untersuchungsumstände erfordern eine ungleiche Verteilung der Stichproben. Wie in Abschnitt 3.2.5 beschrieben wird für die Gruppe der Experten ein Stichprobenumfang von $N = 8$ gewählt. Döring und Bortz (2016) schlagen bei ungleich großen Stichproben für die Berechnung des Gesamtstichprobenumfangs folgende Formel vor:

$$n_B = \frac{n_A \times n}{2 \times n_A - n}$$

Dabei wird ausgehend von der Expertenstichprobe (n_A) und des optimalen Stichprobenumfangs nach Döring und Bortz (2016) für hohe Effektgrößen ($n = 20$) der Stichprobenumfang der Laien berechnet ($n_B = 40$). Aufgrund der Missachtung der Voraussetzung der Formel ($2 \times n_A > n$) gilt diese Stichprobenberechnung nur als Näherung.

Hypothesentests

Die Überprüfung der Versuchshypothesen wird mittels t-Test bzw. Varianzanalysen durchgeführt. Für alle Überprüfungen wird ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ festgelegt. Zu Beginn jeder Auswertung

werden – wie von Vollrath (2015b) vorgeschlagen – die erhobenen Daten deskriptiv dargestellt und die Voraussetzungen der entsprechenden Tests nach Bortz und Schuster (2010) geprüft. Tabelle 4-1 listet die Voraussetzungen auf.

Tabelle 4-1. Voraussetzungen des t-Test und der Varianzanalyse nach Bortz und Schuster (2010)

t-Test (unabhängig)	Varianzanalyse (mehrfaktoriell)
1) Die Messwerte sind intervallskaliert und normalverteilt.	1) Die Messungen zwischen den Gruppen sind unabhängig.
2) Die Varianzen der Messwerte sind homogen.	2) Die Messwerte sind intervallskaliert und normalverteilt.
	3) Bei ungleich großen Stichproben: Die Varianzen der Messwerte sind homogen.

Ein Bestandteil einiger Hypothesen dieser Arbeit und somit Untersuchungsgegenstand sind die heterogenen Varianzen der Stichproben, weshalb für Teile der Versuchsauswertungen eine Alternative für t-Test bzw. Varianzanalyse gesucht werden muss. So sollte der t-Test nicht eingesetzt werden, wenn die Voraussetzungen der normalverteilten Grundgesamtheit und Varianzhomogenität nicht erfüllt sind (Bortz & Schuster, 2010). Auch die Varianzanalyse ist gegen diesen bestimmten Fall nicht robust. „Bei ungleich großen Stichproben und heterogenen Varianzen ist die Gültigkeit des F-Tests vor allem bei kleineren Stichprobenumfängen erheblich gefährdet“ (Bortz & Schuster, 2010, S. 214). Büning und Trenkler (1994) empfehlen nichtparametrische Verfahren, da diese keine speziellen Verteilungsannahmen für die Grundgesamtheit erfordern und auch bei unterschiedlich großen Stichproben eingesetzt werden können. Tabelle 4-2 zeigt mögliche Alternativen für t-Test, Varianzanalyse und Korrelationsuntersuchungen.

Tabelle 4-2. Nichtparametrische Alternativen für statistische Verfahren

	Verfahren	Nichtparametrische Alternative
Überprüfung der Normalverteilung	Kolmogoroff-Smirnov-Test	Shapiro-Wilk-Test Geeignet für die Überprüfung kleiner Stichproben (Bortz & Schuster, 2010)
Varianzhomogenität	Levene-Test	Levene-Test
Gruppenunterschiede bei zwei Gruppen	t-Test	Mann-Whitney-U-Test Nichtparametrisch, geeignet für nicht normalverteilte Daten und heterogene Varianzen (Büning & Trenkler, 1994)
Gruppenunterschiede ab zwei Gruppen	ANOVA	Kruskal-Wallis-Rangsummen-Test
Korrelationsuntersuchung	Pearson	Kendalls Tau Geeignet für kleine Stichproben und nicht normalverteilte Daten (Döring & Bortz, 2016)

VERSUCHSREIHEN UND ERGEBNISSE

Die jeweilige Prüfung auf Normalverteilung befindet sich im Anhang.

Die dargestellten Boxplot-Diagramme zu den subjektiven Erlebnisbewertungen dienen zur Veranschaulichung der „zentralen Tendenz und Variabilität“ der Verteilung (Bortz & Schuster, 2010, S. 44). Dabei wird der Median der Bewertung in die Box eingezeichnet, die die mittleren 50% der Verteilung repräsentieren. Zur detaillierten Erläuterung der Darstellung, der Whisker und ihrer Berechnung wird hierbei auf Bortz und Schuster (2010) und Döring und Bortz (2016) verwiesen.

4.2 Studie 1: Bewertung der Fahrdynamik beim automatisierten Fahren im Wizard-of-Oz

Im Folgenden werden zunächst Vorgehensweise, eingesetzte Methodik und Variablen der ersten Studie kompakt dargestellt. Michael Festner und Kathrin Schmidt waren maßgeblich bei der Planung und Durchführung der Untersuchung beteiligt. Eine Beschreibung der Methodik, Durchführung und der Ergebnisse ist auch in der Arbeit von Festner (2019) sowie in der Masterarbeit von Schmidt, K. (2017) zu finden.

Tabelle 4-3. Kurzübersicht der Studie *Bewertung der Fahrdynamik beim automatisierten Fahren im Wizard-of-Oz „Fond“*

Forschungsfrage	Welchen Einfluss hat die Abwendung des Nutzers auf die Wahrnehmung und Bewertung der Längs- und Querdynamik automatisierter Fahrmanöver sowie der gesamten Fahrt?
Ziel	Gewichtung der Fahrdynamik als Einflussfaktor für das Nutzererlebnis
Versuchshypothese 1	H1: Je mehr Ressourcen beansprucht werden, desto weniger automatisierte Fahrmanöver nimmt der Nutzer wahr.
Versuchshypothese 2	H2: Je mehr Ressourcen beansprucht werden, desto niedriger ist die Wahrnehmung der Dynamik automatisierter Fahrmanöver.
Methodik	Realfahrzeug-Probandenstudie (N = 34) – Experten Wizard-of-Oz „Fond“ Fahrmanöverbasierte Befragung Halbstrukturiertes Interview
Unabhängige Variablen	Instruktion der fahrfremden Tätigkeit Automatisierte Fahrmanöver (Fahrstreifenwechsel, Einscherer, Ausscherer, Auffahren)
Abhängige Variablen	Wahrnehmung automatisierter Fahrmanöver Dynamikbewertung automatisierter Fahrmanöver

4.2.1 Untersuchungsziel

Die erste Studie dieser Arbeit behandelt explorativ den Bereich Wahrnehmung und Bewertung von automatisierten Fahrmanövern und ihrer Längs- und Querdynamik. Da das eingesetzte Versuchsfahrzeug bezüglich seines Nutzerkreises noch streng auf BMW-Mitarbeiter limitiert ist, sollen erste Erkenntnisse über nutzerseitige Bedürfnisse und Einflussfaktoren auf das Erlebnis bei einer automatisierten Fahrt erlangt werden. Diese legen die Basis für die anschließenden Versuche und den Vergleich zwischen Experten und Laien. Mit Hilfe des verwendeten Versuchsdesigns wird der Einfluss der Abwendung des

Nutzers auf sein Erlebnis und die Bewertung automatisierter Fahrmanöver untersucht. Des Weiteren sollen die Aspekte einer automatisierten Fahrt identifiziert werden, die von den Probanden besonders kritisch oder differenziert beurteilt werden und die in ihrer Wahrnehmung besonders prägend sind.

Übernimmt die automatisierte Fahrfunktion die Fahrverantwortung, kann sich der Nutzer von seiner zuvor primären Fahraufgabe abwenden und seine Aufmerksamkeit auf fahrfremde Tätigkeiten lenken. Diese Tätigkeiten können die menschlichen Sinne unterschiedlich stark beanspruchen. Sie können in einer motorischen, kognitiven und visuellen Beanspruchung oder eine Kombination aus allen resultieren (NHTSA, 2012; Ulherr, Hasselmann, Kuhn & Bengler, 2015). Da die Aufmerksamkeitsressource eines Menschen begrenzt ist, kann bei einer hohen Konzentration auf eine Tätigkeit die Wahrnehmung anderer Ereignisse beeinträchtigt sein. Ist diese Ressource überdurchschnittlich beansprucht oder ausgeschöpft, können (für die Tätigkeit) irrelevante Informationen nicht aufgenommen oder wahrgenommen werden (Kahneman, 1973; Lavie, 2010). Diese sogenannte Wahrnehmungsblindheit (auch „Inattentional blindness“) beschreibt die Blindheit einer Person gegenüber einem unerwarteten Reiz aufgrund von mangelnder Aufmerksamkeit (Mack & Rock, 2000). So postuliert Festner (2019), dass der Fahrstil und das Fahrverhalten für den Nutzer in den Hintergrund rücken und nur noch störende Ereignisse wahrgenommen werden, wenn die Aufmerksamkeitsressourcen erschöpft sind.

Auch die multiple Ressourcentheorie nach Wickens (2002) besagt, dass bei einer Erschöpfung der visuellen Ressource andere Sinneskanäle bei der Informationsaufnahme unterstützen. So hat Bellem et al. (2017) die gestiegene Bedeutung vestibulärer Reize bei einer visuellen Abwendung von der Fahraufgabe nachgewiesen.

Die Forschungsfrage dieser Studie ist einerseits, inwieweit automatisierte Fahrmanöver bei unterschiedlicher Abwendung des Fahrers durch fahrfremde Tätigkeiten wahrgenommen werden und inwieweit die Manöverdynamik unterschiedlich wahrgenommen wird. Andererseits gilt es zu untersuchen, welche Eigenschaften einer automatisierten Fahrt sich negativ auf das Nutzererlebnis auswirken können und welche Bedürfnisse Nutzer bei dieser Fahrt haben.

Es werden folgende Hypothesen formuliert und überprüft:

H1: Je mehr Ressourcen beansprucht werden, desto weniger automatisierte Fahrmanöver nimmt der Nutzer wahr.

H2: Je mehr Ressourcen beansprucht werden, desto niedriger ist die Wahrnehmung der Dynamik automatisierter Fahrmanöver.

4.2.2 Methode

Im Folgenden wird der Versuchsaufbau – inklusive der Stichprobe, den fahrfremden Tätigkeiten und der zu bewertenden automatisierten Fahrmanöver – im Detail beschrieben.

4.2.2.1 Probandenkollektiv

Aufgrund der Sondergenehmigung für das Versuchsfahrzeug ist der Nutzerkreis zum Zeitpunkt dieser Studie limitiert. So ist es notwendig die Stichprobe auf Experten im Bereich der Entwicklung des automatisierten Fahrens zu konzentrieren. Die Anforderungen für die Versuchsteilnehmer wurden anhand

der in Abschnitt 3.2.5 erarbeiteten Kriterien abgeleitet. Im Gegensatz zu den anschließenden Versuchen und Experten-Laien-Vergleichen, stehen in der ersten Studie nicht Experten mit regelmäßiger Erprobungstätigkeit (Erprober) im Fokus. Aufgrund der Verfügbarkeit wurden Experten im Bereich der Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen eingeladen.

- Mitarbeiter der BMW Group
- Tätigkeit in der Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen
- Studium der Ingenieurwissenschaften

Tabelle 4-4 beschreibt die Stichprobe der 41 Versuchspersonen. Davon werden 7 Probanden aufgrund von technischen Problemen bei den Versuchsfahrten und Messungen ausgeschlossen. Für die Auswertung wird eine Stichprobe von 34 Versuchspersonen herangezogen.

Tabelle 4-4. Beschreibung des Probandenkollektivs (N = 34)

Alter	Mittelwert (SA)	41,6 Jahre (9,92)
	Bereich	28 – 61 Jahre
Geschlecht		24 x männlich // 7 x weiblich (21 %)
Führerscheinbesitz	Mittelwert (SA)	22,9 Jahre (9,49)
Marke eigenes Fzg	BMW	79 %
	andere Marke	21 %

4.2.2.2 Fahrzeug

Bei dem verwendeten Versuchsfahrzeug handelt es sich um den in Kapitel 2.3.2 beschriebenen Wizard-of-Oz-Versuchsträger „Fond“.

Versuchsfahrer (Wizard)

Für die Untersuchungen werden aus organisatorischen Gründen drei erfahrene Testfahrer speziell geschult. Aufgrund der erhöhten Belastung durch die zeitlich eng getakteten Versuchsfahrten ist es notwendig die Testfahrer zu rotieren. Das potentielle Risiko eines inkonsistenten Systemverhaltens durch den Einsatz mehrerer Versuchsfahrer soll durch die Anwendung des entwickelten Leitfadens minimiert werden (siehe Abschnitt 2.3.2.3). Speziell soll hier der Fokus auf eine intensive Schulung, genaue Definition des Systemverhaltens und ein wiederholtes Testen der definierten Fahrmanöver gelegt werden. Dennoch ist es unentbehrlich den Faktor „Versuchsfahrer“ als Kontrollvariable und somit seinen Einfluss auf die subjektive Beurteilung der Testpersonen zu untersuchen.

Die drei Versuchsfahrer absolvieren zunächst auf einem abgesperrten Testgelände Unterweisungen, Testfahrten sowie eine Probandenstudie (Gold et al., 2018), die die Validierung des Versuchsträgerkonzeptes zum Ziel hat. Daraufhin werden Unterweisungen und Testfahrten im Realverkehr durchgeführt und die Versuchsfahrer entsprechend der Instruktion aus Kapitel 2.3.2.3 – zur Sicherstellung eines konsistenten Systemverhaltens – geschult.

Versuchsleiter (Multiwizard)

Gemäß dem in Abschnitt 2.3.2.3 beschriebenen Multiwizard-Ansatz verfügt der Versuchsleiter über eine Tablet-Schnittstelle, mit der er verdeckt mit dem Versuchsfahrer kommunizieren kann. Wie in Abbildung

4-1 dargestellt kann er hierüber dem Wizard Fahrmanöver instruieren, die im Folgenden beschrieben werden. Zusätzlich dient die Schnittstelle der Versuchsdokumentation und Markierung der automatisierten Fahrmanöver sowie der fahrfremden Tätigkeiten in der Aufzeichnung.



Abbildung 4-1: Schnittstelle des Versuchsleiter-Tablet für Multiwizard-Ansatz

4.2.2.3 Fahrfremde Tätigkeiten

Fahrfremde Tätigkeiten (fft) können nach NHTSA (2012) „in Abhängigkeit der beanspruchten Ressourcen in visuelle, manuelle oder kognitive [Abwendung] unterteilt werden“ (Schmidt, K., 2017, S. 2). In Anlehnung an Ulherr et al. (2015) wurde eine Tätigkeit ohne Interaktion (Verkehr beobachten), eine passive Tätigkeit (Film ansehen) und eine aktive Tätigkeit (Tetris spielen) ausgewählt. In Tabelle 4-5 sind die drei eingesetzten fahrfremden Tätigkeiten veranschaulicht, inklusive der dadurch beanspruchten Ressourcen und der Einteilung in Interaktion sowie Unterbrechbarkeit nach Spiessl und Hussmann (2011) und Ulherr et al. (2015). Des Weiteren ist der resultierende Grad der Abwendung nach Festner (2019) dargestellt.

Tabelle 4-5. Kategorisierung der drei eingesetzten fahrfremden Tätigkeiten in Anlehnung an Festner, Schmidt, Omozik und Schramm (im Druck)

	<i>Beanspruchte Ressource</i>			<i>Interaktion</i>	<i>Unterbrechbarkeit</i>	<i>Grad der Abwendung</i>
	<i>visuell</i>	<i>kognitiv</i>	<i>motorisch</i>			
Verkehr beobachten	+			–	–	gering
Film ansehen	+	+		passiv	gut	mittel
Tetris spielen	+	+	+	aktiv	schlecht	hoch

Für die Tätigkeit „Film ansehen“ stand den Versuchspersonen eine Auswahl an Dokumentationen und Reportagen zur Verfügung, um das Interesse und den Grad der Abwendung zu gewährleisten. Der Film wurde im Display der Mittelkonsole (Central Instrument Display – kurz „CID“) des Versuchsfahrzeuges ausgewählt und abgespielt (siehe Abbildung 4-2). Analog dazu wurde das Tetris-Spiel im CID angezeigt und über das iDrive-Bedienelement in der Mittelkonsole gesteuert.



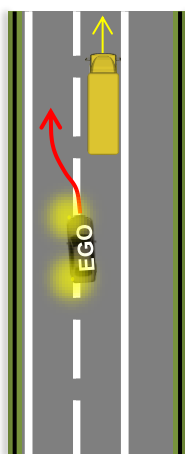
Abbildung 4-2: Fahrfremde Tätigkeiten "Video ansehen" links und "Tetris spielen" rechts im Bild

4.2.2.4 Fahrmanöver

Bellem, Schönenberg, Krems und Schrauf (2015, 2016) schlagen bei Komfortanalysen einen manöverbasiert Ansatz vor. So werden in diesem Versuch folgende Fahrmanöver untersucht (siehe Tabelle 4-6), die in Anlehnung an Studien zum Komfort automatisierter Fahrfunktionen festgelegt wurden (Bellem et al., 2016; Festner et al., 2017; Festner, Baumann & Schramm, 2016; Strasser, 2012).

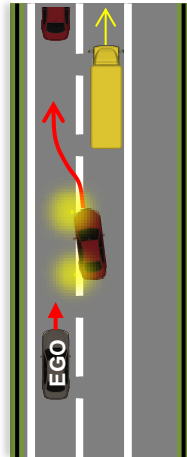
Tabelle 4-6. Automatisierte Fahrmanöver

Fahrstreifenwechsel



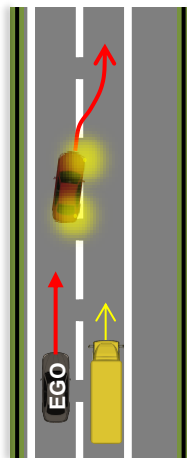
Das Ego-Fahrzeug fährt bis zu einem minimalen Abstand von 40 m auf den LKW auf und wechselt den Fahrstreifen mit einer maximalen Längsverzögerung von 0,5 m/s² und einer maximalen Querbeschleunigung von 1 m/s². Dabei folgt kein Fremdverkehr auf dem benachbarten Fahrstreifen.

Einscherer



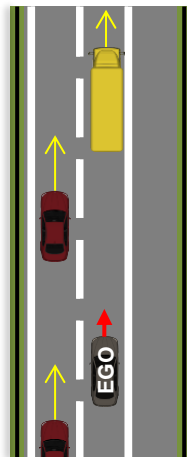
Das automatisierte Fahrzeug fährt auf der linken Spur. Ein Drittfahrzeug scheidet zwischen dem Egofahrzeug und dem ursprünglichen Vorderfahrzeug ein. Das Egofahrzeug verzögert mit einer maximalen Längsverzögerung von $0,75 \text{ m/s}^2$, um den ursprünglichen Abstand wieder einzuhalten.

Ausscherer



Das automatisierte Fahrzeug fährt auf der linken Spur. Das Vorderfahrzeug scheidet aus und verlässt die Fahrspur des Egofahrzeugs. Das Egofahrzeug beschleunigt daraufhin mit einer maximalen Längsbeschleunigung $0,5 \text{ m/s}^2$ auf die Zielgeschwindigkeit von 130 km/h .

Auffahren



Das automatisierte Fahrzeug nähert sich einem langsam fahrenden LKW und verzögert mit einer maximalen Längsbeschleunigung von $0,75 \text{ m/s}^2$. Ein minimaler Abstand von 40 m wird eingehalten. Diese Fahrmanöver wird auch Annäherung oder Andocken genannt.

4.2.2.5 Fahrmanöverbasierte Befragung

Um die Wahrnehmung und Bewertung einzelner automatisierter Fahrmanöver festzuhalten, wird die sogenannte Experience-Sampling-Method (ESM – siehe Abschnitt 3.1.3) nach Larson und Csikszentmihalyi (2014) eingesetzt. Dabei wird zum Zeitpunkt des Ereignisses eine subjektive Bewertung abgegeben und zusammen mit den objektiven Daten abgespeichert, die das Ereignis beschreiben.

In dieser Studie wird nach dem jeweiligen automatisierten Fahrmanöver eine Befragung über ein Tablet in der Mittelkonsole gestartet. Die Versuchsperson gibt an, ob sie das Fahrmanöver wahrgenommen hat und wie sie die Längs- und Querbewegungen sowie den Abstand bewertet. Aufgrund der Sensitivität

und Robustheit wird nach Cox (1980) eine siebenstufige Likert-Skala verwendet (siehe Abbildung 4-3). Mit Hilfe dieses Vorgehens können die objektiven Messungen der automatisierten Fahrmanöver mit den subjektiven und situativen Bewertungen der Probanden in Zusammenhang gebracht werden.

Haben Sie den Fahrstreifenwechsel wahrgenommen?

Bitte bewerten Sie...

nicht spürbar		Verzögerung			deutlich spürbar	
<input type="button" value="1"/>	<input type="button" value="2"/>	<input type="button" value="3"/>	<input type="button" value="4"/>	<input type="button" value="5"/>	<input type="button" value="6"/>	<input type="button" value="7"/>

eng		Abstand			weit	
<input type="button" value="1"/>	<input type="button" value="2"/>	<input type="button" value="3"/>	<input type="button" value="4"/>	<input type="button" value="5"/>	<input type="button" value="6"/>	<input type="button" value="7"/>

Abbildung 4-3: Oberfläche für fahrmanöverbasierte Bewertung

4.2.2.6 Versuchsstrecke

Der Versuchsablauf ist unterteilt in eine Eingewöhnungsfahrt und die Versuchsstrecke, in der die Versuchsperson die definierten Fahrmanöver bewertet.

Eingewöhnungsfahrt

Die Eingewöhnungsfahrt A-B-C-1 (zu sehen in Abbildung 4-4) hat eine Länge von 21 km. Dabei führt der erste Teilabschnitt A-B über eine Landstraße auf die Autobahn (9 km) und dauert im Mittel 09:46 min (SA = 1,07). Der zweite Teilabschnitt B-C dient zur Eingewöhnung der Versuchsperson an den automatisierten Fahrmodus, hat eine Länge von 3 km und dauert im Mittel 1:45 min (SA = 0,13). Die Automation ist in diesem Bereich auf 90 km/h begrenzt und es werden keine Fahrstreifenwechsel durchgeführt. Dies wird dem Probanden so instruiert. Der dritte Teilabschnitt C-1 wird manuell durchfahren, hat eine Länge von 9 km (MW = 7:30 min, SA = 0,50) und dient zur Eingewöhnung der Versuchsperson an



Abbildung 4-4: Eingewöhnungsfahrt

das Fahrzeug auf der Autobahn. Die Versuchsperson fährt anschließend auf einen Parkplatz, wo die restliche Instruktion stattfindet und der Versuch gestartet wird.

Versuchsfahrt

Abbildung 4-5 zeigt die Versuchsstrecke 1-4-1 mit einer Gesamtlänge von 88 km. Sie setzt sich aus einer Hin- und Rückfahrt auf einer zweispurigen Autobahn zusammen, die jeweils durch eine Baustelle geteilt ist. Der erste automatisierte Versuchsabschnitt 1-2 hat eine Länge von 10 km (MW = 5:50 min, SA = 1,03), der zweite Versuchsabschnitt 3-4 eine Länge von 24 km (MW = 13:46 min, SA = 1,53). Die Baustelle 2-3 wird manuell durchfahren, ist 10 km lang und dauert im Mittel 6:20 min (SA = 0,58). Analog wird die Rückfahrt mit den automatisierten Teilabschnitten 4-3 und 2-1 sowie der Baustelle 3-2 durchfahren.



Abbildung 4-5: Versuchsstrecke

Nach Lange, A., Maas, Albert, Siedersberger und Bengler (2014) sowie Festner et al. (2016) beeinflussen individuelle Unterschiede die Wahrnehmung und Bewertung der Dynamik beim automatisierten Fahren. Aus diesem Grund wird für den Versuch ein zweifaktorielles *Within-Subject-Design* gewählt. Jede Versuchsperson übt alle drei fahrfremden Tätigkeiten in permutierter Reihenfolge aus und erlebt und bewertet die automatisierten Fahrmanöver in zufälliger Reihenfolge.

Die gesamte Versuchsstrecke 1-4-1 ist aufgeteilt in drei gleich große Abschnitte, in denen die drei fahrfremden Tätigkeiten durchgeführt werden. Jeder dieser Abschnitte wird unterbrochen von einem manuellen Fahrabschnitt (Baustelle bzw. Wendepunkt) und hat jeweils eine Länge von 29 km. Der Wendevorgang dauert von Autobahnabfahrt bis –auffahrt im Mittel 3:21 min (SA = 0,12).

4.2.3 Versuchsdurchführung

Nach der Begrüßung durch eine Assistenz wird die Versuchsperson über die Versuchsinhalte, die automatisierte Fahrfunktion, die Versuchsstrecke und den Ablauf informiert und füllt den Vorfragebogen aus (siehe Anhang 0). Anschließend wird sie zum Wizard-of-Oz-Versuchsträger geführt und dort vom Versuchsleiter begrüßt, während der Wizard bereits versteckt im Fahrzeug sitzt. Hierdurch kann der Schein eines echten automatisierten Versuchsfahrzeuges aufrechtgehalten werden.

Während der Eingewöhnungsfahrt hat der Proband die Möglichkeit, sich auf einer Landstraße sowie Autobahn an das Lenk- und Fahrverhalten des Versuchsfahrzeuges jeweils im manuellen und automatisierten Fahrmodus zu gewöhnen. Im Anschluss wird – nach einem kurzen Halt auf einem Rastplatz – der Versuch begonnen, die fahrfremden Tätigkeiten in permutierter Reihenfolge durchgeführt und die automatisierten Fahrmanöver in zufälliger Reihenfolge bewertet. Die manuelle Fahrt wird rechtzeitig (2 Minuten) vor der Baustelle sowie dem Wendevorgang verbal durch den Versuchsleiter sowie durch eine Übernahmeaufforderung (45 Sekunden) akustisch und visuell im Kombiinstrument angekündigt. Die drei Übernahmesituationen stehen nicht im Fokus des Versuches und werden dementsprechend instruiert. So erleben alle Probanden eine fiktive Übernahmesituation sowohl im Stand vor der Fahrt als auch während der Eingewöhnungsfahrt. Im Anschluss werden Sie aufgefordert, alle Übernahmesituationen im Verlauf der Versuchsfahrt nicht in ihre Bewertung einfließen zu lassen.

Die Instruktion für die Versuchsfahrer (siehe 2.3.2.3) ist auf eine defensive und komfortable Fahrweise ausgelegt. Um dies in der Wahrnehmung der Versuchspersonen zu bestätigen, wird in der Nachbefragung die subjektive Einschätzung zu folgenden Konstrukten erfasst: Allgemeine Bewertung der gesamten Fahrt, Zufriedenheit bezüglich der Fahrweise, Vertrauen sowie Komfortempfinden (siehe Anhang A). Des Weiteren wird qualitativ nach prägenden Erlebnissen während der gesamten Versuchsfahrt gefragt. Der gesamte Versuchsablauf ist schematisch in Abbildung 4-6 dargestellt.

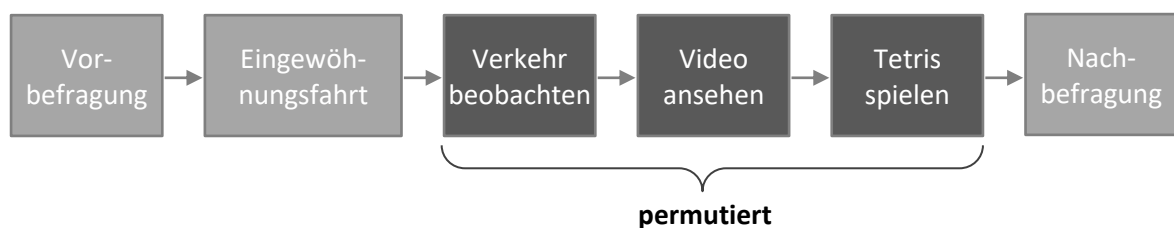


Abbildung 4-6: Versuchsablauf der Studie I nach Schmidt, K. (2017)

4.2.4 Versuchsauswertung

Das Ergebniskapitel ist unterteilt in die Überprüfung der Gütekriterien, die Beschreibung der Ergebnisse aus der fahrmanöverbasierten Befragung und die Ergebnisse aus der Nachbefragung.

4.2.4.1 Überprüfung der Gütekriterien

Zu Beginn der Auswertung muss festgehalten werden inwieweit die wissenschaftlichen Gütekriterien (siehe 2.3.1.3) eingehalten wurden. Die Objektivität der Einzelbewertungen ist gewährleistet, wenn die Dynamik der bewerteten Fahrmanöver konstant ist und eine kleine Streuung aufzeigt. Der Versuch ist reliabel, wenn die Variable „Versuchsfahrer“ keinen signifikanten Einfluss auf die Dynamik der Fahrmanöver hat. Und schließlich ist der Versuch valide, wenn sich die Dynamik der bewerteten Fahrmanöver nicht signifikant von der eines realen automatisierten Fahrzeuges unterscheiden.

Objektivität

Tabelle 4-7 zeigt den Einfluss der Versuchsfahrer auf die gemessene Dynamik der Fahrmanöver. Aufgrund der höheren Fallzahlen wird hier exemplarisch die Dynamik der Fahrstreifenwechsel verwendet. Alle anderen Fahrmanöver zeigen keinen signifikanten Einfluss des Versuchsfahrers (siehe Anhang A.1). Für den Signifikanztest wurde hierbei der Kruskal-Wallis-Test angewendet. Wie in Abschnitt 4.1 beschrieben ist dieser aufgrund der ungleichen Stichprobengrößen zwischen den Versuchsfahrern notwendig.

Tabelle 4-7. Dynamik der automatisierten Fahrstreifenwechsel abhängig von Versuchsfahrer 1 bis 3

		<i>Wizard 1</i>	<i>Wizard 2</i>	<i>Wizard 3</i>
		N = 60	N = 31	N = 114
Quer	Max. Querschleunigung	0,59 m/s ² (0,19)	0,50 m/s ² (0,13)	0,61 m/s ² (0,16)
	Max. Querruck	2,38 m/s ³ (0,36)	2,35 m/s ³ (0,50)	2,19 m/s ³ (0,52)
Längs	Mittlere Geschwindigkeit**	124,2 km/h (3,42)	116,5 km/h (4,63)	125,0 km/h (3,25)
	Max. Längsbeschleunigung**	0,37 m/s ² (0,11)	0,56 m/s ² (0,06)	0,39 m/s ² (0,10)
	Max. Längsruck*	2,23 m/s ³ (0,42)	2,04 m/s ³ (0,27)	1,84 m/s ³ (0,29)
	Min. Abstand zum Vorderfahrzeug	110,2 m (59,9)	101,9 m (65,4)	143,4 m (73,5)

Notiz: Mittelwert (Standardabweichung)

Die drei Wizards weisen in ihrem Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverhalten sowie dem resultierenden Längsruck einen signifikanten Unterschied auf. Des Weiteren ist ein Unterschied im minimalen

Abstand zum Vorderfahrzeug zu erkennen. Der Einfluss des Versuchsfahrers wird folglich in der Auswertung der Wahrnehmung und Dynamikbewertung berücksichtigt.

Bei allen Messungen wurde kein systematischer Effekt der Tageszeit, des Wetters und der Reihenfolge der fahrfremden Tätigkeiten gefunden, was für eine erfolgreiche Permutation spricht.

Reliabilität

Anhand des in 2.3.2.3 beschriebenen Leitfadens wird die gemessene Dynamik der automatisierten Fahrmanöver auf Konsistenz geprüft. Tabelle 4-8 zeigt die Dynamik-Kenngrößen sowie die gemessenen Mittelwerte (und Standardabweichung) in Abhängigkeit der Fahrmanöver.

Tabelle 4-8. Dynamik der automatisierten Fahrmanöver

		<i>Fahrstreifen-</i> <i>wechsel</i>	<i>Einscherer</i>	<i>Ausscherer</i>	<i>Auffahren</i>
	Anzahl	N = 205	N = 102	N = 40	N = 48
Quer	Max. Querbeschleunigung	0,60 m/s ² (0,18)	–	–	–
	Max. Querruck	2,28 m/s ³ (0,47)	–	–	–
Längs	Mittlere Geschwindigkeit	123,2 km/h (4,73)	118,4 km/h (9,82)	121,7 km/h (10,77)	107,4 km/h (5,23)
	Max. Längsbeschleunigung	0,42 m/s ² (0,12)	– 0,37 m/s ² (0,14)	0,25 m/s ² (0,20)	– 0,34 m/s ² (0,12)
	Max. Längsruck	2,00 m/s ³ (0,37)	– 2,07 m/s ³ (0,56)	1,28 m/s ³ (0,44)	– 1,56 m/s ³ (0,49)
	Min. Abstand zum Vorderfahrzeug	125,4 m (68,9)	32,5 m (29,7)	51,4 m (18,7)	49,2 m (19,8)

Notiz: Mittelwert (Standardabweichung)

Die Streuung des minimalen Abstandes zum Vorderfahrzeug ist über alle Fahrmanöver verhältnismäßig hoch und wird bei der folgenden Auswertung der subjektiven Bewertung gesondert betrachtet. Der Grund für die große Streuung wird im Realverkehr und den nicht gesamthaft reproduzierbaren Fahrmanövern gesehen. Alle anderen fahrdynamischen Werte weisen eine sehr geringe Streuung auf und deuten auf die Effektivität des verwendeten Leitfadens und des Trainings hin.

Validität

Analog zur Objektivität wird die Validität der Versuchsumgebung anhand von Fahrstreifenwechseln exemplarisch dargestellt. Hierfür werden in einem realen automatisierten Versuchsfahrzeug Fahrstreifenwechsel durchgeführt, gemessen und der Wizard-of-Oz-Messung gegenübergestellt.

Es liegt ein Effekt der Automation vor (Wizard-of-Oz und reales Versuchsfahrzeug; (F (6,33) = 18,88, p < 0,01, $\eta^2 = 0,77$).

Tabelle 4-9 zeigt die deskriptiven Kenngrößen der Einzelkriterien sowie die anhand eines Kruskal-Wallis-Tests errechneten inferenzstatistischen Unterschiede.

Tabelle 4-9. Vergleich zwischen der gemessenen Dynamik im Wizard-of-Oz und realem Versuchsträger anhand von Fahrstreifenwechsel

	<i>Wizard</i>	<i>real</i>	<i>Mann-Whitney-U-Test</i>			<i>Effektstärke</i>
Anzahl	N = 33	N = 7				
Max. Querbeschleunigung ***	0,60 m/s ² (0,18)	1,02 m/s ² (0,21)	U = 4	Z = -3,97	p < 0,001	r = 0,63
Max. Querruck	2,28 m/s ³ (0,47)	2,08 m/s ³ (0,19)	U = 127	Z = 0,41	p = 0,695	r = 0,06
Mittlere Geschwindigkeit	123,2 km/h (4,73)	120,9 km/h (10,9)	U = 100	Z = -0,55	p = 0,593	r = 0,09
Max. Längsbeschleunigung	0,42 m/s ² (0,12)	0,40 m/s ² (0,46)	U = 162	Z = 1,66	p = 0,101	r = 0,26
Max. Längsruck **	2,00 m/s ³ (0,37)	0,71 m/s ³ (0,80)	U = 205	Z = 3,19	p = 0,002	r = 0,50
Min. Abstand zum Vorderfahrzeug	125,4 m (68,9)	144,9 m (72,9)	U = 85	Z = -1,09	p = 0,285	r = 0,17

Die Versuchsfahrer weisen in ihrem Fahrverhalten bei Fahrstreifenwechseln eine geringere Querbeschleunigung und einen höheren Längsruck als reale Versuchsfahrzeuge auf. Die geringe Querbeschleunigung ist den hohen Sicherheitsanforderungen an den eingesetzten Wizard-of-Oz-Versuchsträger und der Versuchsdurchführung geschuldet. Der höhere Längsruck – bei gleicher maximalen Längsbeschleunigung – ist auf den menschlichen Fahrer sowie der technischen Umsetzung der Wizard-Pedalerie zurückzuführen. Zuletzt handelt es sich bei dem eingesetzten realen Versuchsfahrzeug um einen Prototyp mit prototypischer Automation und Fahrzeugregelung. Dies kann im frühen Entwicklungsstadium zu unkomfortablen Fahrmanövern führen.

4.2.4.2 Wahrnehmung und Bewertung der automatisierten Fahrmanöver

Im Folgenden wird die Bewertung in Abhängigkeit der automatisierten Fahrmanöver und der fahrfremden Tätigkeiten aufgezeigt. Hierfür wird zunächst die Wahrnehmung der definierten Fahrmanöver untersucht.

Wahrnehmung der automatisierten Fahrmanöver

Abbildung 4-7 zeigt den Anteil der wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver abhängig von der fahrfremden Tätigkeit. Die Wahrnehmung eines automatisierten Fahrmanövers hängt von der fahrfremden Tätigkeit ($F(2,176) = 36,18, p < 0,01, \eta^2 = 3,295$) als auch von der Art des Fahrmanövers ab ($F(3,176) = 19,79, p < 0,01, \eta^2 = 1,802$). Die Versuchsfahrer und der Minimalabstand pro Manöver haben

keinen signifikanten Einfluss auf die Wahrnehmung der automatisierten Fahrmanöver. Zuletzt gibt es einen Interaktionseffekt zwischen der Instruktion der fahrfremden Tätigkeit und den automatisierten Fahrmanövern ($F(6,176) = 4,265$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,388$). Das bedeutet, dass der Grad der Abwendung je nach Fahrmanöver einen unterschiedlichen Einfluss auf dessen Wahrnehmung hat.

Für die Auswertung der subjektiven Bewertungen werden die nicht wahrgenommenen Fahrmanöver ausgeschlossen.

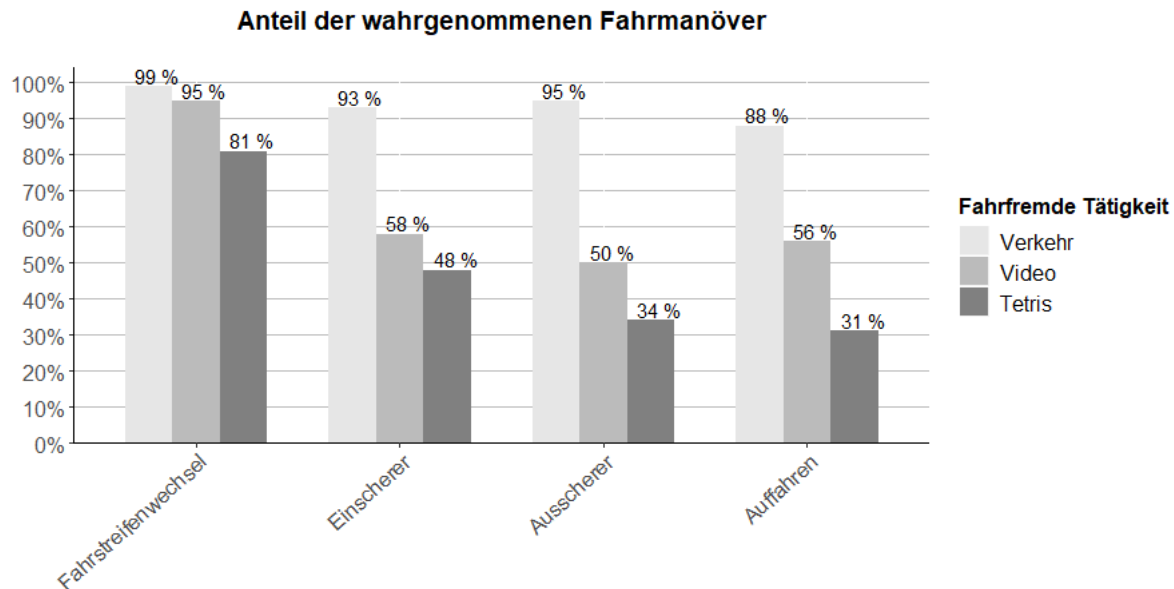


Abbildung 4-7: Anteil der wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver in Abhängigkeit von der fahrfremden Tätigkeit

Bewertung der Beschleunigung

Die Beschleunigung der automatisierten Fahrmanöver wird anhand einer siebenstufigen Ein-Item-Likert-Skala bewertet (1 – nicht spürbar bis 7 – sehr spürbar). Dabei wird instruiert, dass bei Manöver *Fahrstreifenwechsel* die Querbeschleunigung, bei *Einscherer*, *Ausscherer* und dem *Auffahren* die Längsbeschleunigung bewertet wird. Abbildung 4-8 visualisiert die subjektiven Bewertungen der Spürbarkeit der erlebten Beschleunigungen in Abhängigkeit von den fahrfremden Tätigkeiten. Die Bewertung der Beschleunigung ist abhängig von der fahrfremden Tätigkeit ($F(2,182) = 15,91$, $p < 0,001$), jedoch nicht abhängig vom Fahrmanöver ($F(3,182) = 0,91$, $p = 0,440$). Mit steigender Anzahl der beanspruchten Ressourcen und dem Grad der Abwendung sinkt die Spürbarkeit der Beschleunigung bei automatisierten Fahrmanövern. Gleichzeitig bleibt die Wahrnehmung der Beschleunigung bei allen Arten von Fahrmanövern gleich. Die Bewertung der Beschleunigung hängt nicht von den Versuchsfahrern ab.

Bewertung des Abstandes

Abbildung 4-9 zeigt die subjektive Bewertung des Abstandes der automatisierten Fahrmanöver. Weder die fahrfremde Tätigkeit ($F(2,182) = 1,43$, $p = 0,244$), noch das Fahrmanöver ($F(3,182) = 1,58$, $p = 0,198$) haben Einfluss auf die Wahrnehmung des Abstandes. Des Weiteren ist die Wahrnehmung des Abstandes unabhängig von den Versuchsfahrern.

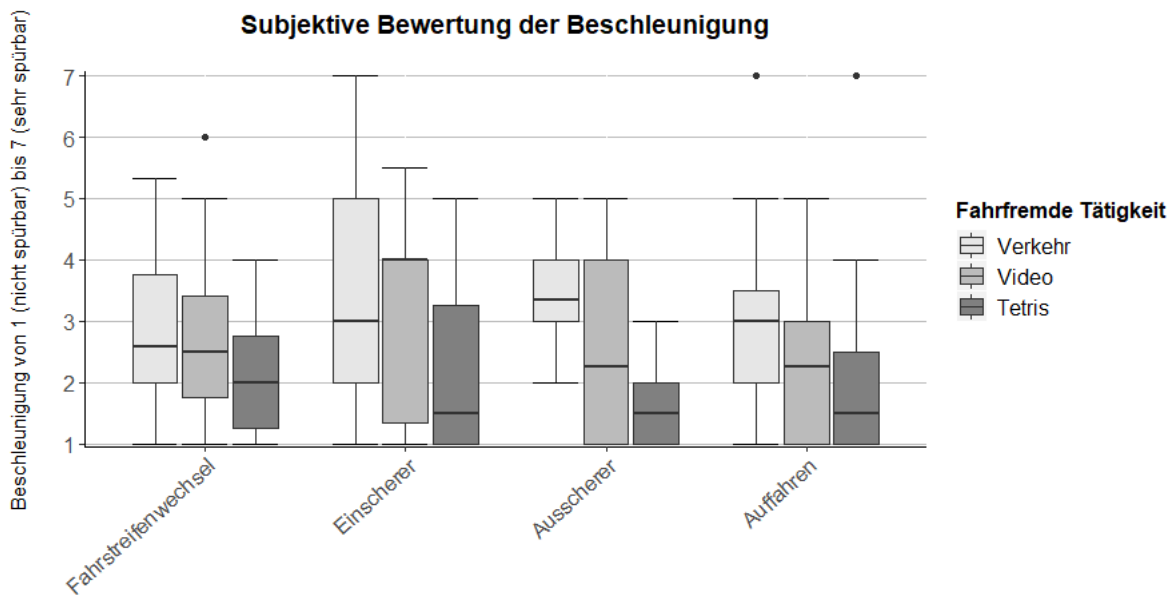


Abbildung 4-8: Subjektive Bewertung der Beschleunigung der automatisierten Fahrmanöver in Abhängigkeit der fahrfremden Tätigkeiten

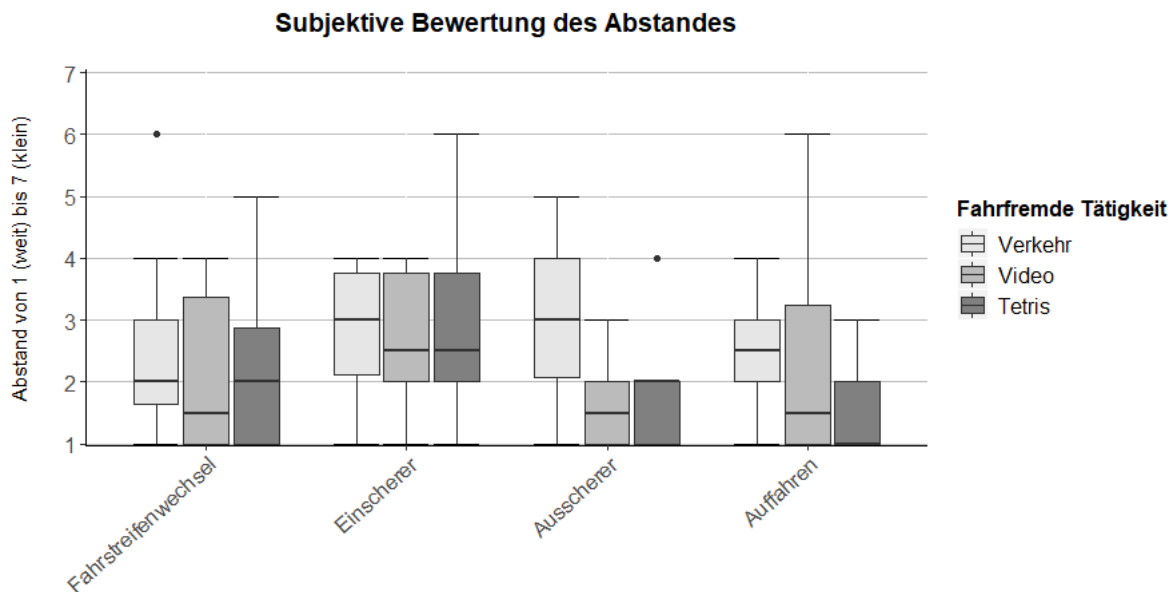


Abbildung 4-9: Subjektive Bewertung des Abstandes der automatisierten Fahrmanöver in Abhängigkeit der fahrfremden Tätigkeiten

4.2.4.3 Bewertung der gesamten Fahrt

Gemäß den Erkenntnissen von Gold et al. (2018) werden – bezogen auf die gesamte automatisierte Fahrt mit dem Wizard-of-Oz-Versuchsträger „Fond“ – hohe Zufriedenheits- und Komfortbewertungen erzielt. So werden die Gesamtzufriedenheit (MW = 6,31, SA = 0,77), das Sicherheitsempfinden (MW = 6,26, SA = 0,94), das Komfortempfinden (MW = 5,90, SA = 1,05) und das Vertrauen (MW = 6,23, SA = 0,71) jeweils im oberen Bereich der siebenstufigen Likert-Skala bewertet.

Ein wichtiger Faktor bei der Auswertung der Gesamtbewertung ist die Häufigkeit, mit der einzelne Eigenschaften der Fahrt von den Versuchspersonen benannt werden. Die Versuchspersonen werden im Anschluss an die Versuchsfahrt halbstrukturiert und qualitativ nach prägenden Erlebnissen befragt und haben die Möglichkeit, Gründe für ein negatives Nutzererlebnis selbst zu adressieren. Es ist davon auszugehen, dass die von den Probanden genannten Gründe für die subjektive Bewertung des Nutzererlebnisses und der gesamten Fahrt von hoher Relevanz sind (Müller, T. A., 2015, S. 81).

Abbildung 4-10 zeigt die Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kriterien als Grund für ein negatives Nutzererlebnis. Die Kriterien *Längsdynamik*, *Abstand*, *Querdynamik* und *Spurmitte* werden hierbei dem Aspekt Fahrdynamik zugeordnet, die Kriterien *Verkehrshindernis*, *Fahrstreifenwechsel-Strategie (FSW)* und *Verkehrsfluss* dem Aspekt Fahrstrategie. Tabelle 4-10 listet exemplarisch Zitate der Versuchsperson hinsichtlich der einzelnen Kriterien auf.

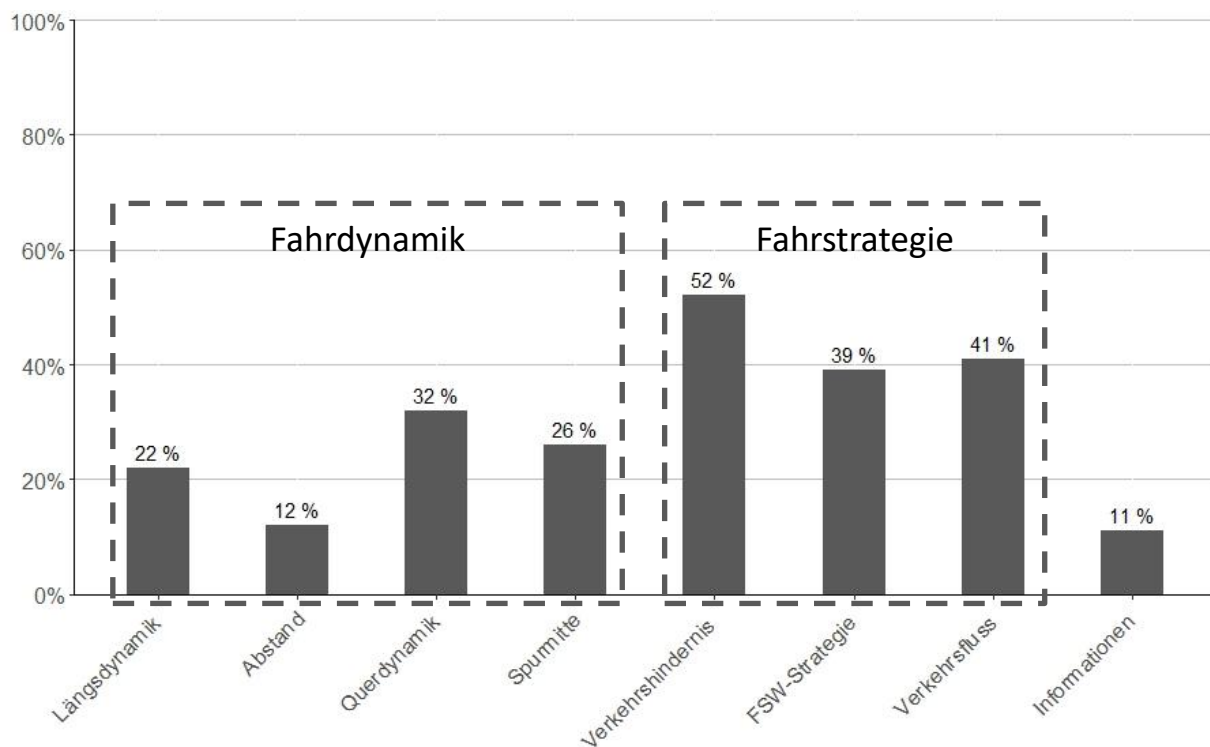


Abbildung 4-10: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für negatives Nutzererlebnis

Die Ergebnisse zeigen neben der Fahrdynamik den besonderen Stellenwert der Fahrstrategie als wesentlichen Einflussfaktor auf das Nutzererlebnis. Sich als Verkehrshindernis zu fühlen, besonders bei Fahrstreifenwechseln sowie die fehlende Einordnung in den Verkehrsfluss wurden von den Versuchspersonen als sehr relevant berichtet.

Tabelle 4-10. Exemplarische Zitate in Abhängigkeit der Kriterien für negatives Nutzererlebnis

Längsdynamik

„...zu starke Verzögerung...“

„Das starke Bremsen hat mich aus dem Video gerissen.“

Abstand

„... sind zu nah auf den LKW aufgefahren.“

„Der Abstand ist viel zu groß.“

Querdynamik	„... deutlicher Ruck beim Spurwechsel.“ „Das Pendeln in der Spur ist spürbar.“
Spurmitte	„Es fährt nicht mittig in der Spur.“ „... zu weit links.“
Verkehrshindernis	„... haben einen anderen Verkehrsteilnehmer ausgebremst.“ „Ich bin zu oft ein Verkehrshindernis.“
FSW-Strategie	„... zu früh zum Fahrstreifenwechsel angesetzt.“ „... zu spät überholt.“
Verkehrsfluss	„Fahrzeug ist langsamer als es fahren könnte.“ „Wir hängen hinter dem LKW – ich will schnell von A nach B.“ „Nun mach doch jetzt mal.“
Information	„Ich will wissen, was das Fahrzeug sieht.“ „Mir fehlt der Grund für das Fahrzeugverhalten.“

4.2.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für weitere Versuchsreihen

Die Ergebnisse der Studie stellen die empirische Grundlage dar, auf deren Basis im weiteren Verlauf der Arbeit die Untersuchungsgegenstände fokussiert werden.

Hypothese 1 (Limitierte Wahrnehmung der Fahrmanöver)

Für den Einfluss der beanspruchten Ressourcen auf die Wahrnehmung wird die Hypothese angenommen. Die Menge beanspruchter Ressourcen und der Grad der Abwendung haben Einfluss auf die Wahrnehmung der automatisierten Fahrmanöver.

Hypothese 2 (Limitierte Wahrnehmung der Manöverdynamik)

Für den Einfluss der beanspruchten Ressourcen auf die Bewertung der Manöverdynamik wird die Hypothese teilweise angenommen. Die Menge der beanspruchten Ressourcen und der Grad der Abwendung haben Einfluss auf die Wahrnehmung der Beschleunigung der automatisierten Fahrmanöver, jedoch nicht auf die Wahrnehmung des Abstandes.

Es zeigt sich, dass mit steigender Menge an beanspruchten Ressourcen und steigendem Grad der Abwendung (siehe Abschnitt 4.2.2.3) der Anteil der wahrgenommenen Fahrmanöver sinkt. Des Weiteren werden *Fahrstreifenwechsel* öfter wahrgenommen als die Fahrmanöver *Einscherer*, *Ausscherer* und *Auffahren*, bei denen jeweils die Längsdynamik im Fokus steht.

Aufgrund der qualitativen Rückmeldung der Versuchspersonen wird für die weiteren Versuchsreihen der Fokus bei der Bewertung der Fahrmanöver auf die Fahrstrategie gelegt. So wird die Fahrstrategie („kein Verkehrshindernis sein“, „sinnvolle Fahrstreifenwechsel machen“ oder „im Verkehrsfluss mitschwimmen“) als essentiell für ein positives Nutzererlebnis gesehen.

Ebenso müssen für weitere Versuchsreihen die eingesetzten Versuchsfahrer gleichmäßiger über die Versuchspersonen verteilt werden. Eventuelle Unterschiede im Fahrstil (wie hier das individuelle Beschleunigungsverhalten) können somit besser ausgeglichen werden.

Limitationen

Falls der Einsatz mehrerer Versuchsfahrer aus organisatorischen Gründen weiterhin notwendig bleibt, muss im Folgenden stärkerer Fokus auf deren Instruktion und Training gelegt werden. Trotz der vorgestellten Maßnahmen weisen die Wizards vor allem im Beschleunigungsverhalten unterschiedliche objektive Fahrwerte auf. Eine weitere Limitation der Studie ist die Durchführung im Realverkehr. Aufgrund der nicht kontrollierbaren Verkehrsdichte muss in den folgenden Versuchen stärkerer Fokus auf die Vergleichbarkeit der zu bewertenden Manöver gelegt werden. Somit werden im Vorfeld die automatisierten Fahrmanöver genauer beschrieben und die objektiven Kriterien bereits während der Versuchsfahrt beachtet.

Die Wahrnehmung der automatisierten Fahrmanöver weist gesamthaft sehr hohe Werte auf. Dies kann zum einen am natürlichen Interesse der Probanden gegenüber der Automation und Neuheit der Technologie liegen. Des Weiteren kann der geringere Einfluss der frei wählbaren Tätigkeit auf die Abwendung und Wahrnehmung Grund dafür sein. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass die Fragestellung zur Wahrnehmung („Haben Sie das letzte Fahrmanöver wahrgenommen?“) suggestiv ist und durch die Probanden stets bejaht wird. Aus diesem Grund wurde die Rückmeldung der Probanden je Manöver durch den Versuchsleiter und eine qualitative Nachbefragung validiert – und notfalls korrigiert.

Zuletzt kann die genannte Neuheit der Technologie zum Zeitpunkt der Studie und das daraus resultierende starke Interesse der Probanden zu den in Abschnitt 4.2.4.3 berichteten Deckeneffekten in der Gesamtbewertung führen. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen aktueller Studien (Bellem, Thiel, Schrauf & Krems, 2018; Festner, 2019; Himmels et al., 2021; Schmidt, K., 2017), führt zu einer eingeschränkten Validität von Abschlussbefragungen und wird in der Diskussion dieser Arbeit weiter behandelt (siehe Kapitel 5.1).

4.3 Studie 2: Bewertung der Fahrstrategie beim automatisierten Fahren im Wizard-of-Oz

Im Folgenden werden Vorgehensweise, Methodik und Variablen der zweiten Studie kompakt dargestellt. Susanna Suchan und Jennifer Schmid waren maßgeblich bei der Planung und Durchführung der Studie beteiligt. Eine Beschreibung der Methodik, Durchführung und Ergebnisse ist auch in Omozik et al. (2019) sowie in der Masterarbeit von Schmid (2018) zu finden.

Tabelle 4-II. Kurzübersicht der Studie *Bewertung der Fahrstrategie beim automatisierten Fahren im Wizard-of-Oz „Fond“*

Forschungsfrage	Welchen Einfluss hat die Expertise auf die Wahrnehmung und Bewertung automatisierter Fahrmanöver sowie der gesamten Fahrt?
Ziel	Identifizierung des Experten-Bias bei der Bewertung automatisierter Fahrmanöver
Versuchshypothese 3	H3: Die Erlebnisbewertung der automatisierten Fahrmanöver durch die kleine Gruppe mit hoher Expertise ist negativer als die der großen Gruppe mit geringer Expertise.
Versuchshypothese 4	H4: Die Erlebnisbewertung der automatisierten Fahrmanöver durch die kleine Gruppe mit hoher Expertise hat eine kleinere Varianz als die der großen Gruppe mit geringer Expertise.
Methodik	Realfahrzeug-Probandenstudie (N = 49) Wizard-of-Oz „Fond“ Fahrmanöverbasierte Befragung
Unabhängige Variablen	Expertise (Experten, Laien) Automatisierte Fahrmanöver (3 Fahrstreifenwechsel, 2 Folgefahrten, reduzierte Geschwindigkeit) Instruktion der fahrfremden Tätigkeit
Abhängige Variablen	Bewertung des Nutzererlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern und nach der automatisierten Fahrt Nutzerverhalten

4.3.1 Untersuchungsziel

In der zweiten Studie wird auf dem Vorgehen der vorangegangenen Studie 1 aufgebaut und der Einfluss der Expertise auf die Bewertung automatisierter Fahrmanöver untersucht. Mit Hilfe der Erkenntnisse der ersten Studie werden dabei die fahrfremden Tätigkeiten und Fahrmanöver weiter fokussiert.

Der primäre Untersuchungsgegenstand der Studie 2 ist der Vergleich der Bewertung automatisierter Fahrmanöver zwischen einer kleinen Gruppe mit hoher Expertise (Experten) und einer großen Gruppe mit

geringer Expertise (Laien). Das Ziel des Einsatzes einer kleinen Expertengruppe in einer menschenzentrierten Entwicklung ist es, eine effektive und effiziente Absicherungsmethodik zu schaffen, falls Probandenstudien technisch und zeitlich nur sehr aufwendig eingesetzt werden können (siehe Kapitel 1; Vollrath, 2015a). Hierbei ist es notwendig die Leistung und Qualität einer Expertenbewertung von Fall zu Fall neu zu untersuchen (siehe Kapitel 3.2).

Wie in Abschnitt 3.2.4 beschrieben haben Expertenbewertungen Limitationen. So sind Experten nicht vor Verzerrung (Bias) geschützt (Meyer, M. A. & Booker, 2001), wobei De-Biasing nur eingeschränkt entgegen wirkt (Fischoff, 1981). Besonders die motivationale Verzerrung der Experten mit kritischen Gutachter-Aufgaben (siehe „Erprober“ in Abschnitt 3.2.4 und 3.2.5) kann dazu führen, dass sie Fahrmanöver tendenziell kritischer bewerten als Laien (Galaske, 2017; Meyer, M. A. & Booker, 2001). Weiterhin ist zu beachten, dass bei der Bewertung durch Laien aufgrund ihrer mangelnden Erfahrung und ihres geringeren Referenzrahmens eine große Streuung entsteht (Galaske, 2017; Müller, T. A., 2015). Demgegenüber ist anzunehmen, dass „fähige Experten unter ähnlichen Umständen die gleiche Situation ähnlich bewerten“ (Galaske, 2017, S. 65). Diese potentiellen Unterschiede in der Bewertung werden in Studie 2 untersucht.

Außerdem werden basierend auf den Erkenntnissen der ersten Studie die automatisierten Fahrmanöver und fahrfremden Tätigkeiten angepasst. So unterscheiden sich die zu bewertenden automatisierten Fahrmanöver nun in ihrer Fahrstrategie. Die Bewertungsskala für einzelne Fahrmanöver wird basierend auf den qualitativen Rückmeldungen der Studie 1 neu aufgebaut, indem das Empfinden andere Verkehrsteilnehmer aufzuhalten (sich somit als Verkehrshindernis zu fühlen) und das Empfinden zügig voranzukommen (somit im Verkehr mitzuschwimmen) in der Manöverbewertung explizit abgefragt werden.

Um das Interesse und die Immersion zu steigern wird als fahrfremde Tätigkeit mit hohem Abwendungsgrad ein Quiz eingesetzt. Des Weiteren ist im ersten Teil der Versuchsfahrt die Tätigkeit frei wählbar, um explorativ Unterschiede bezüglich des natürlichen Verhaltens zwischen Experten und Laien zu untersuchen (Feldhütter et al., 2018).

Es werden folgende zwei Versuchshypothesen formuliert und überprüft:

H3: Die Erlebnisbewertung der automatisierten Fahrmanöver durch die kleine Gruppe mit hoher Expertise ist negativer als die der großen Gruppe mit geringer Expertise.

H4: Die Erlebnisbewertung der automatisierten Fahrmanöver durch die kleine Gruppe mit hoher Expertise hat eine kleinere Varianz als die der großen Gruppe mit geringer Expertise.

4.3.2 Methode

Im Folgenden wird der Versuchsaufbau – inklusive der Stichprobe und der nachgebildeten Versuchsstrecke – im Detail beschrieben.

4.3.2.1 Probandenkollektiv

Die gesamte Stichprobe (N = 49) besteht aus 41 Laien und 8 Experten. Bei den gewählten Gruppen handelt es sich um eine geschichtete Zufallsstichprobe der Laien und eine einfache Zufallsstichprobe der Experten (Döring & Bortz, 2016).

Laien

Wie in DIN EN ISO 9241-210 beschrieben sollen die in einer menschenzentrierten Entwicklung involvierten Personen über die Fähigkeiten, Merkmale und Erfahrungen verfügen wie das Spektrum der Nutzer. Da es für das automatisierte Fahren noch keine Erfahrungswerte gibt und Prädiktionen für potentielle Nutzer ungenau sind (Frison et al., 2019), ist das Ziel dieses Versuches eine heterogene Gesamtstichprobe.

„Alle 41 Probanden haben sich initiativ auf eine Ausschreibung gemeldet und freiwillig an der Studie teilgenommen. Als Motivation hierfür gaben die Personen insbesondere großes Interesse“ an der Entwicklung des automatisierten Fahren an (Schmid, 2018, S. 18). Die Anforderungen für das Probandenkollektiv der Laien werden wie folgt im Einladungsschreiben formuliert:

Anforderung an das Probandenkollektiv der Laien

- Keine Mitarbeiter der BMW Group
- Keine Tätigkeit in der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen oder automatisierten Fahrfunktionen
- Regelmäßige Teilnahme am Straßenverkehr (mindestens einmal wöchentlich)
- Alter zwischen 20 und 65 Jahren
- Noch nicht an einer Studie zum automatisierten Fahren teilgenommen

Experten

Für die Experten werden gemäß der Definition aus Abschnitt 3.2.5 folgende Anforderungen formuliert. Anschließend werden diese zufällig aus einer Erprobungsabteilung für Fahrerassistenzsysteme ausgewählt. Zu dieser Zeit waren 16 Personen in der Abteilung.

Anforderung an das Probandenkollektiv der Experten

- Mitarbeiter der BMW-Abteilung für Erprobung von Fahrerassistenzsystemen
- Detailliertes Fachwissen zu Fahrerassistenzsystemen
- Studium der Ingenieurwissenschaften

Tabelle 4-12. Beschreibung des Probandenkollektivs (N = 49)

		<i>Laien</i>	<i>Experten</i>
Stichprobengröße		N = 41	N = 8
Alter	Mittelwert (SA)	41,6 Jahre (11,50)	39,3 Jahre (9,48)
	Bereich	20 – 65 Jahre	28 – 59 Jahre
Geschlecht		25 x männlich	7 x männlich
		16 x weiblich (39 %)	1 x weiblich (13 %)
Führerscheinbesitz	Mittelwert (SA)	23,8 Jahre (11,51)	21,4 Jahre (9,50)
Marke eigenes Fzg	BMW	51 %	50 %
	andere Marke	49 %	50 %

4.3.2.2 Fahrzeug

Bei dem verwendeten Versuchsfahrzeug handelt es sich um den in Kapitel 2.3.2 beschriebenen und in Studie 1 verwendeten Wizard-of-Oz-Versuchsträger „Fond“. Im Gegensatz zur vorherigen Studie werden nur zwei Versuchsfahrer eingesetzt und für die neu definierten Fahrmanöver geschult. Mit Hilfe der beiden Wizards soll sowohl eine Entlastung der Fahrer als auch die Vergleichbarkeit und geringere Streuung innerhalb der Fahrstile gewährleistet werden. Des Weiteren wird der verdeckte Kommunikationskanal zwischen Versuchsleiter und Versuchsfahrer angepasst, um Instruktionen hinsichtlich der Fahrstrategie geben zu können. Abbildung 4-11 zeigt die angepasste Versuchsleiterschnittstelle.

Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> Verkehrsdichte: niedrig, mittel, hoch Witterung: sonnig, bewölkt, Regen Straßenbedingung: trocken, nass Befragung / Bewertung 	Anweisungen an Wizard <ul style="list-style-type: none"> Geschwindigkeit: 110, 130 Fahrstreifenwechsel: links, rechts Gefahr: Vorsicht, STOP
Interaktion mit Probanden <ul style="list-style-type: none"> Übernahmeaufforderung 	Fahrfremde Tätigkeit <ul style="list-style-type: none"> Eigene Wahl, Quiz

Abbildung 4-II: Tablet für Versuchsleiter

4.3.2.3 Fahrmanöver

Aufbauend auf den Erkenntnissen der ersten Studie und den qualitativen Rückmeldungen der Probanden werden die definierten Fahrmanöver angepasst. In Studie 2 sollen sich die automatisierten Fahrmanöver in ihrer Fahrstrategie unterscheiden.

Frenzel (2018) erkennt die Fahrstrategie als essentiellen Faktor für den Erfolg des automatisierten Fahrens und identifiziert technische Gründe für potentielle Komplikationen.

1. Radar und Lidar automatisierter Fahrzeuge (vorne und hinten verbaut) verfügen über eine eingeschränkte Reichweite von ca. 250 m. Diese Einschränkung kann zur Unsicherheit bei Fahrstreifenwechsel führen, da Verkehrsteilnehmer spät erkannt werden können. Diese Unsicherheit steigt mit der Relativgeschwindigkeit zwischen dem Ego-Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmern.
2. Diese Unsicherheit kann dazu führen, dass andere Verkehrsteilnehmer erst spät erkannt und abgebremst werden oder Fahrstreifenwechsel aus Unsicherheit nicht durchgeführt werden.
3. Außerdem kann die Fusion der Informationen aus Navigation, Flotten-Daten und der Umfelderkennung des automatisierten Fahrzeugs zur Unsicherheit im Fahrverhalten führen. Eine mögliche Ursache kann sein, dass das automatisierte Fahrzeug langsamer fährt als aktuell in Wirklichkeit erlaubt ist und technisch möglich.

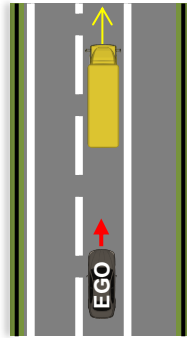
Darauf aufbauend werden sechs Fahrmanöver definiert. Die vier letzteren Fahrmanöver sind durch die beschriebenen Unsicherheiten gekennzeichnet und weisen für Experten ein Fehlverhalten des automatisierten Fahrzeuges auf (siehe Tabelle 4-13). Ziel des Versuches ist es, jedes Fahrmanöver von einer Versuchsperson jeweils zwei Mal erleben und bewerten zu lassen. Die Fahrmanöver konnten während der Fahrt mit Hilfe die technischen Maßnahmen (Abschnitt 2.3.2.3) objektiv bewertet werden.

Tabelle 4-13. Fahrmanöver

<p>Fahrstreifenwechsel 1 Fahrstreifenwechsel ohne Nachfolgeverkehr</p>		<p>Das Ego-Fahrzeug fährt bis zu einem minimalen Abstand von 60 m auf den LKW auf und wechselt den Fahrstreifen mit einer maximalen Längsverzögerung von 0,25 m/s² und einer maximalen Querschleunigung von 0,75 m/s². Dabei folgt kein Fremdverkehr auf dem benachbarten Fahrstreifen.</p>
<p>Fahrstreifenwechsel 2 Fahrstreifenwechsel Einscheren in Kolonne</p>		<p>Das Ego-Fahrzeug fährt bis zu einem minimalen Abstand von 60 m auf den LKW auf und wechselt den Fahrstreifen mit einer maximalen Längsverzögerung von 0,25 m/s² und einer maximalen Querschleunigung von 0,75 m/s². Dabei fährt eine Kolonne an Fahrzeugen auf dem benachbarten Fahrstreifen vorbei. Die Lückengröße beträgt zwischen 100 m und 200 m. Es ist keine Verzögerung beim nachfolgenden Fahrzeug sichtbar.</p>
<p>Fahrstreifenwechsel 3 Fahrstreifenwechsel mit Folgefahrzeug</p>		<p>Das Ego-Fahrzeug fährt bis zu einem minimalen Abstand von 60 m auf den LKW auf und wechselt den Fahrstreifen mit einer maximalen Längsverzögerung von 0,25 m/s² und einer maximalen Querschleunigung von 0,75 m/s². Dabei folgt ein Fahrzeug auf dem benachbarten Fahrstreifen und verzögert sichtbar. Der Ausgangsabstand zum nachfolgenden Fahrzeug beträgt unter 50 m.</p>

Folgefahrt 1

Folgefahrt
ohne Nachfolgeverkehr



Das automatisierte Fahrzeug fährt auf einen vor ihm fahrenden LKW auf und wechselt nicht den Fahrstreifen. Auf dem benachbarten Fahrstreifen ist kein Nachfolgeverkehr sichtbar. Das Ego-Fahrzeug fährt bis zu einem minimalen Abstand von 60 m auf den LKW auf. Dabei beträgt die Längsverzögerung maximal 0,75 m/s².

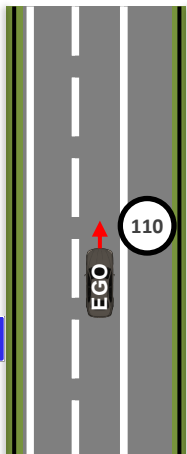
Folgefahrt 2

Folgefahrt
mit Kolonne



Das automatisierte Fahrzeug fährt auf einen vor ihm fahrenden LKW auf und wechselt nicht den Fahrstreifen. Auf dem benachbarten Fahrstreifen fährt eine Kolonne an Fahrzeugen vorbei. Die Lückengrößen liegt zwischen 100 m und 200 m. Das Ego-Fahrzeug fährt bis zu einem minimalen Abstand von 60 m auf den LKW auf. Dabei beträgt die Längsverzögerung maximal 0,75 m/s².

**Reduzierte
Geschwindigkeit**



Das automatisierte Fahrzeug fährt auf dem rechten Fahrstreifen ohne Vorderfahrzeug mit einer Geschwindigkeit von 130 km/h. Es verzögert auf eine Geschwindigkeit von 110 km/h. Auf dem benachbarten Fahrstreifen ist kein Nachfolgeverkehr sichtbar. Die Längsverzögerung beträgt maximal 0,75 m/s².

4.3.2.4 Fahrmanöverbasierte Befragung

Durch das Risiko einer suggestiven Frage zur Wahrnehmung wird die Fragestellung in Studie 2 angepasst. Im Vorfeld der Erlebnisbewertung werden die Probanden nun befragt, ob und welches Ereignis Sie in der letzten Zeit wahrgenommen haben. Entspricht die Antwort dem Fahrmanöver, wird im Anschluss die Erlebnisbewertung durchgeführt.

Hierbei wird auch die in 4.2.2.5 beschriebene Befragungsmethodik angepasst. Es wird eine halbstrukturierte Befragungsform gewählt – mit einer quantitativen Skala und einer kurzen qualitativen Nachbefragung. Um die Befragung effizient zu gestalten und den Aufwand gegenüber der Studie 1 zu senken (Cox, 1980), wird eine fünfstufige Likert-Skala verwendet. Die Probanden beantworten die in Tabelle 4-14

beschriebenen Items, die sich aus der Auswertung der qualitativen Abschlussbefragung der Studie 1 ergeben. Dabei empfinden 51 % der Versuchspersonen das Gefühl „Andere aufzuhalten“ und „ein Verkehrshindernis zu sein“ als kritisch für ihr Erlebnis. Weiterhin bemängeln 42 % der Versuchspersonen das Nutzererlebnis, wenn sie nicht im Verkehrsfluss „mitschwimmen“.

Tabelle 4-14. Items der manöverbasierten Befragung

	Keine Zustimmung			Volle Zustimmung	
1. „Ich war mit dem Fahrverhalten zufrieden .“	1	2	3	4	5
2. „Ich hatte das Gefühl Andere aufzuhalten .“	1	2	3	4	5
3. „Ich hatte das Gefühl zügig voranzukommen.“	1	2	3	4	5

Mit Hilfe dieser drei Items wird die Bewertung des Nutzererlebnisses berechnet. Dabei wird das zweite Item invertiert und im Anschluss die Summe über alle drei Items gebildet. Das Nutzererlebnis kann somit insgesamt von 3 (schlechtes Erlebnis) bis 15 (gutes Erlebnis) bewertet werden.

4.3.2.5 Versuchsstrecke

Die Strecke ist unterteilt in eine Eingewöhnungs- und die Versuchsfahrt, in der die definierten Fahrmanöver bewertet werden.

Eingewöhnungsfahrt

Die Eingewöhnungsfahrt A-B-C-1 hat eine Länge von 21 km. Dabei führt der erste Teilabschnitt A-B über eine Landstraße zur Autobahn (9 km) und dauert im Mittel 10:08 min (SA = 1,40 min). Der zweite Abschnitt B-C dient zur Eingewöhnung an den automatisierten Fahrmodus, hat eine Länge von 3 km und dauert im Mittel 1:55 min (SA = 0,15 min). Die Automation ist in diesem Bereich auf 90 km/h begrenzt und es werden keine Fahrstreifenwechsel durchgeführt. Dies wird dem Probanden so instruiert. Der dritte Teilabschnitt C-1 wird manuell durchfahren, hat eine Länge von 9 km (MW = 5:53 min, SA = 0,45 min) und dient zur Eingewöhnung der Versuchsperson mit dem Fahrzeug auf der Autobahn. Wie in Abbildung 4-12 zu sehen, endet die Eingewöhnungsfahrt bei Punkt 1 und der Versuch wird gestartet.



Abbildung 4-12: Eingewöhnungsfahrt mit manuellen (orange) und automatisierten (blau) Teilabschnitten

Versuchsstrecke

Abbildung 4-13 zeigt die Versuchsstrecke 1-4-1 mit einer Gesamtlänge von 90 km. Sie setzt sich aus einer Hin- und Rückfahrt zusammen und ist jeweils durch eine Baustelle geteilt, die manuell durchfahren wird. Der erste automatisierte Versuchsabschnitt 1-2 hat eine Länge von 18 km (MW = 8:46 min, SA = 0,62), der zweite Versuchsabschnitt 3-4 19 km (MW = 8:57 min, SA = 1,23). Die Baustelle 2-3 ist 9 km lang und dauert im Mittel 9:20 min (SA = 2,46). Analog wird die Rückfahrt mit den automatisierten Teilabschnitten 4-3 und 2-1 sowie der Baustelle 3-2 durchfahren.

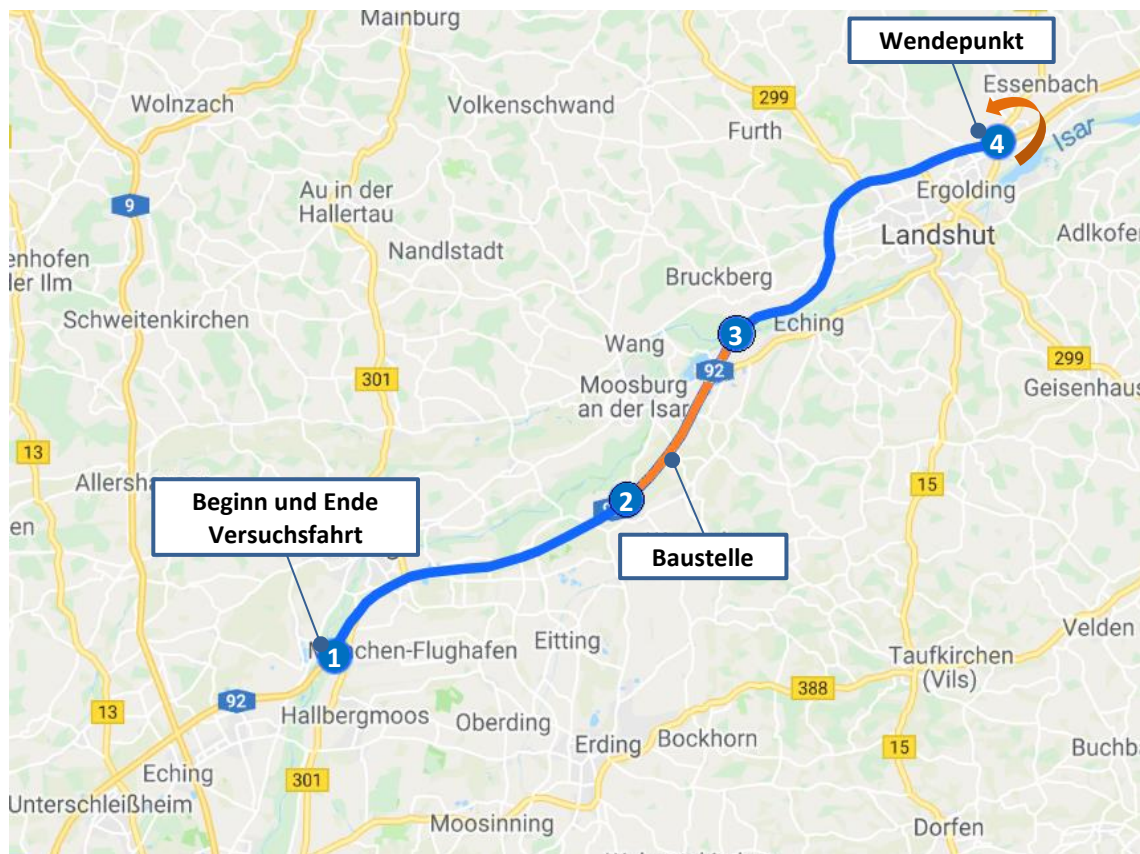


Abbildung 4-13: Versuchsstrecke

Die Baustelle sowie die Abfahrt von der Autobahn werden als Systemgrenzen instruiert und manuell durchfahren. Um der Versuchsperson ausreichend Zeit zur Übernahme der Fahrzeugkontrolle zu geben, werden alle systembedingten Übernahmen frühzeitig (2 min vorher) verbal angekündigt. 45 Sekunden vor der jeweiligen Übernahmestelle wird eine akustische und visuelle Übernahmekaskade eingeleitet (sichtbar im Kombiinstrument). Jede Versuchsperson erlebt vier Übernahmearaufforderungen: vor der Baustelle (in Abbildung 4-13 mit „2“ markiert), der Ausfahrt („4“), der Baustelle („3“) und am Ende des Versuches („1“).

Nachdem der Proband die Fahrzeugkontrolle das letzte Mal übernimmt, wird er abschließend befragt und bewertet sein Nutzererlebnis gesamthaft, während er manuell zum Ausgangspunkt zurückfährt.

4.3.3 Versuchsdurchführung

Der Versuchsablauf ist angelehnt an den Ablauf der Studie 1. Nach der Begrüßung durch eine Assistenz wird die Versuchsperson über die Versuchsinhalte, die automatisierte Fahrfunktion, die Versuchsstrecke und den Ablauf informiert und füllt den Vorfragebogen aus (siehe Anhang B). Anschließend wird sie zum Wizard-of-Oz-Versuchsträger geführt und dort vom Versuchsleiter begrüßt, während der Versuchsfahrer bereits versteckt im Fahrzeug sitzt. Hierdurch kann der Schein eines echten automatisierten Versuchsfahrzeuges aufrechtgehalten werden.

Während der Eingewöhnungsfahrt hat der Proband die Möglichkeit, sich auf einer Landstraße sowie Autobahn an das Lenk- und Fahrverhalten des Versuchsfahrzeuges jeweils im manuellen und automatisierten Fahrmodus zu gewöhnen. Aufgrund der größeren Anzahl automatisierter Fahrmanöver bei gleichbleibender Streckenlänge wird in Studie 2 auf eine dreistufige Aufteilung der fahrfremden Tätigkeiten verzichtet. Um Unterschiede bezüglich des natürlichen Verhaltens zwischen Experten und Laien zu gewinnen, wird nach Feldhütter et al. (2018) im ersten Teil der Versuchsfahrt (Hinfahrt) die freie Wahl der Tätigkeit angeboten. Während der Rückfahrt sind die Probanden instruiert ein Quiz zu spielen, welches sie über eine Tastatur auf ihrem Schoß bedienen (kognitive, visuelle und motorische Abwendung). Abbildung 4-14 zeigt die unterschiedlichen Tätigkeiten für Hin- und Rückfahrt.

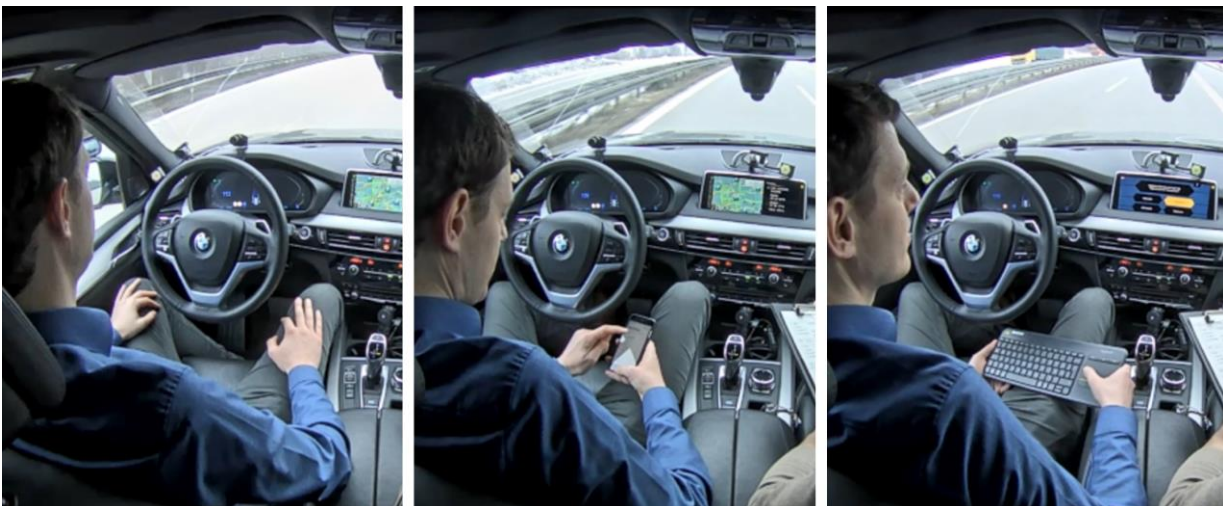


Abbildung 4-14: Fahrfremde Tätigkeiten der Studie 2: Freie Auswahl auf der Hinfahrt (links und mittig) sowie Quiz spielen auf der Rückfahrt (rechts)

Nach der Versuchsfahrt wird die subjektive Einschätzung zu folgenden Konstrukten erfasst: Allgemeine Bewertung der gesamten Fahrt, Vertrauen sowie Komfortempfinden (siehe Anhang B). Des Weiteren werden qualitativ die prägenden Erlebnisse der gesamten Versuchsfahrt abgefragt. Der gesamte Versuchsablauf ist schematisch in Abbildung 4-15 dargestellt.



Abbildung 4-15: Versuchsablauf der Studie 2

4.3.4 Versuchsauswertung

Wie in Studie 1 beginnt das Ergebniskapitel mit der Überprüfung der Gütekriterien. Anschließend wird das Nutzerverhalten explorativ ausgewertet sowie der Vergleich der Experten und Laien hinsichtlich der Bewertung des Nutzererlebnisses bei den automatisierten Fahrmanövern und in der Nachbefragung durchgeführt.

4.3.4.1 Überprüfung der Gütekriterien

In Studie 1 sind bei einzelnen automatisierten Fahrmanövern signifikante Unterschiede im Fahrstil der Versuchsfahrer aufgefallen. Diese Differenzen hatten keinen Einfluss auf die Wahrnehmung oder Bewertung der Fahrmanöver durch die Probanden. Nichtsdestotrotz wurden sowohl der Instruktionsleitfaden und das Training der Wizards als auch die Definition und Detaillierung der Fahrmanöver angepasst. Des Weiteren konnte die Anzahl der Versuchsfahrer auf zwei reduziert werden.

Objektivität

Tabelle 4-15 zeigt den Einfluss der beiden Versuchsfahrer auf das Fahrverhalten während eines automatisierten Fahrmanövers. Wie in Studie 1 wird hier exemplarisch der Fahrstreifenwechsel 1 dargestellt.

Tabelle 4-15. Dynamik des automatisierten Fahrstreifenwechsel 1 abhängig von Versuchsfahrer 1 oder 2

	<i>Wizard 1</i>	<i>Wizard 2</i>	<i>Mann-Whitney-U-Test</i>			<i>Effektstärke</i>
Probanden	N = 27	N = 19				
Max. Querbeschleunigung	0,48 m/s ² (0,18)	0,53 m/s ² (0,14)	U = 112	Z = -1,54	p = 0,08	r = 0,24
Max. Querruck **	1,72 m/s ³ (0,65)	1,40 m/s ³ (0,25)	U = 225	Z = 2,30	p = 0,01	r = 0,36
Mittlere Geschwindigkeit	124,5 km/h (3,64)	125,1 km/h (3,05)	U = 12,7	Z = -0,41	p = 0,695	r = 0,07
Max. Längsbeschleunigung	0,36 m/s ² (0,12)	0,41 m/s ² (0,15)	U = 176	Z = -0,91	p = 0,474	r = 0,10
Max. Längsruck	0,83 m/s ³ (0,40)	1,13 m/s ³ (0,60)	U = 100	Z = -0,55	p = 0,113	r = 0,19
Min. Abstand zum Vorderfahrzeug	133,20 m (20,30)	121,91 m (37,64)	U = 75	Z = -1,19	p = 0,185	r = 0,15

Notiz: Mittelwert (Standardabweichung)

Die beiden Wizards weisen in ihrem Fahrstil deskriptiv eine Tendenz in der Querbeschleunigung und einen signifikanten Unterschied im resultierenden Querruck auf. Alle anderen objektiven Fahrdynamikwerte zeigen keine signifikanten Unterschiede. Der Einfluss des Versuchsfahrers und der Querdynamik wird in der folgenden Auswertung berücksichtigt.

Bei allen Messungen wurde kein systematischer Effekt der Tageszeit, des Wetters und der Reihenfolge der fahrfremden Tätigkeiten gefunden, was für eine erfolgreiche Permutation spricht.

Reliabilität

Anhand des in 2.3.2.3 beschriebenen Leitfadens wird die gemessene Dynamik der automatisierten Fahrmanöver auf Konsistenz geprüft. Tabelle 4-16 zeigt die Dynamik-Kenngrößen sowie die gemessenen Mittelwerte (und Standardabweichung) in Abhängigkeit der Fahrmanöver. Aufgrund der identischen Konstellation innerhalb der Fahrstreifenwechsel 1 bis 3 sowie der Folgefahrt 1 und 2, wird die Reliabilität der Fahrdynamik mit Hilfe der Manöver *Fahrstreifenwechsel 1*, *Folgefahrt 1* und *reduzierte Geschwindigkeit* dargestellt.

Tabelle 4-16. Dynamik der automatisierten Fahrmanöver

		<i>Fahrstreifenwechsel 1</i>	<i>Folgefahrt 1</i>	<i>reduzierte Geschwindigkeit</i>
	Anzahl Fahrmanöver	N = 194	N = 129	N = 147
Quer	Max. Querbeschleunigung	0,50 m/s ² (0,16)	–	–
	Max. Querruck	1,53 m/s ³ (0,38)	–	–
Längs	Mittlere Geschwindigkeit	125,0 km/h (2,96)	87,9 km/h (7,81)	109,4 km/h (2,05)
	Max. Längsbeschleunigung	0,42 m/s ² (0,12)	– 0,87 m/s ² (0,24)	– 1,25 m/s ² (0,58)
	Max. Längsruck	2,00 m/s ³ (0,37)	– 2,19 m/s ³ (1,04)	– 1,65 m/s ³ (0,81)
	Min. Abstand zum Vorderfahrzeug	129,3 m (28,9)	68,7 m (14,2)	–

Notiz: Mittelwert (Standardabweichung); die Anzahl der bewertete Fahrmanöver variiert aufgrund der nicht kontrollierbaren Verkehrssituationen. Somit kommt es dazu, dass Fahrmanöver unterschiedlich oft erlebt werden.

Alle fahrdynamischen Werte weisen über die automatisierten Fahrmanöver eine sehr geringe Streuung auf. Dies kann mit der angepassten Instruktion für die Versuchsfahrer und den detaillierten Definitionen der Fahrmanöver und ihrer Fahrstrategie begründet werden. Fahrmanöver wurden nur dann durch die

Probanden bewertet, wenn diese der Definition entsprochen haben (Tabelle 4-13). Dies wurde jeweils durch den Versuchsleiter während der Fahrt kategorisiert. Einziger auffälliger Wert in diesem Versuch ist die Streuung des Rucks bei der Verzögerung im Rahmen der Folgefahrt. Dies kann, wie in Versuch 1, mit der technischen Umsetzung der Wizard-Pedalerie begründet werden.

Validität

Analog zu Studie 1 wird die Validität des Fahrverhaltens im Wizard-of-Oz-Fahrzeug anhand von Fahrstreifenwechseln exemplarisch überprüft, indem die gemessenen Dynamikwerte eines realen automatisierten Versuchsfahrzeugs gegenübergestellt werden. Tabelle 4-17 zeigt die deskriptiven Kenngrößen der Messung sowie die anhand eines Kruskal-Wallis-Test errechneten signifikanten Unterschiede zwischen Wizard-of-Oz und realem Versuchsfahrzeug.

Tabelle 4-17. Vergleich der gemessenen Dynamikwerte von Fahrstreifenwechseln und Kruskal-Wallis-Test zwischen Wizard-of-Oz und realem Versuchsträger

	<i>Wizard</i>	<i>real</i>	<i>Kruskal-Wallis-Test</i>		
Anzahl Fahrmanöver	N = 194	N = 7			
Max. Quer- beschleunigung ***	0,50 m/s ² (0,16)	1,02 m/s ² (0,21)	$\eta^2 = 17,83$	df = 1	< p = 0,001
Max. Querruck ***	1,53 m/s ³ (0,38)	2,08 m/s ³ (0,19)	$\eta^2 = 13,79$	df = 1	< p = 0,001
Mittlere Geschwindigkeit	125,0 km/h (2,96)	120,9 km/h (10,9)	$\eta^2 = 0,04$	df = 1	p = 0,841
Max. Längs- beschleunigung	0,32 m/s ² (0,13)	0,40 m/s ² (0,46)	$\eta^2 = 2,90$	df = 1	p = 0,09
Max. Längsruck	0,92 m/s ³ (0,47)	0,72 m/s ³ (0,80)	$\eta^2 = 3,68$	df = 1	p = 0,06
Min. Abstand zum Vorderfahrzeug	129,3 m (28,9)	144,9 m (72,9)	$\eta^2 = 0,77$	df = 1	p = 0,380

Die Versuchsfahrer weisen in ihrem Fahrverhalten für Fahrstreifenwechsel eine geringere Querdynamik auf als ein reales Versuchsfahrzeug. Die geringe Querbeschleunigung und –ruck ist den hohen Sicherheitsanforderungen an den eingesetzten Wizard-of-Oz-Versuchsträger und die Versuchsdurchführung geschuldet. Im Vergleich zur Studie 1 ist der Querruck gesunken. Dies kann durch die Gewöhnung der Versuchsfahrer an die Lenkung und die angepasste Instruktion begründet werden. Der tendenziell höhere Längsruck – bei tendenziell geringerer Längsbeschleunigung – ist auf den menschlichen Fahrer sowie die technische Umsetzung der Wizard-Pedalerie zurückzuführen. Analog zur Studie 1 handelt es sich bei dem eingesetzten realen Versuchsfahrzeug um einen Prototyp mit prototypischer Automation und Fahrzeugregelung. Dies kann im frühen Entwicklungsstadium zu unkomfortablen Fahrmanövern führen. Sowohl Querdynamik als auch Längsdynamik der Fahrmanöver werden in der weiteren Auswertung berücksichtigt.

4.3.4.2 Explorative Auswertung des Nutzerverhaltens

Aufgrund des Studiendesigns und der freien Wahl der fahrfremden Tätigkeit während der Hinfahrt kann das natürliche Verhalten der Probanden untersucht werden. Insbesondere wird hierbei explorativ der Unterschied zwischen Experten und Laien für folgende Faktoren ermittelt:

- Gewählte Sitzposition der Probanden
- Anteil der Versuchspersonen, die selbständig eine fahrfremde Tätigkeit wählen
- Art der gewählten fahrfremden Tätigkeit sowie der Zeitpunkt der ersten Beschäftigung

Tabelle 4-18 zeigt den Zeitpunkt der ersten entspannten Sitzhaltung in Abhängigkeit von der Expertise. Die Kategorisierung der Sitzposition wird anhand der Fußstellung, Handposition, Schulterhöhe und Kopfposition des Probanden ermittelt. Eine Beschreibung dieser Metriken ist in Omozik et al. (2019) zu finden. So werden eine breite Fußstellung, angelehnte Arme und Hände, eine tiefe Schulterhöhe und ein geneigter Kopf als sehr entspannte Haltung kategorisiert.

Tabelle 4-18. Explorativer Vergleich des Nutzerverhaltens abhängig von der Nutzerexpertise

	<i>Laien</i>	<i>Experten</i>
Sitzposition		
Zeitpunkt der entspannten Sitzhaltung nach Aktivierung der Automation	1:29 min (1,99)	2:58 min (1,05)
Fahrfremde Tätigkeit		
Zeitpunkt der ersten Beschäftigung nach Aktivierung der Automation	3:15 min (2,51)	3:02 min (1,66)
Art der ersten Beschäftigung nach Aktivierung der Automation	Verkehr beobachten	7 %
	Handy	68 %
	Video	18 %
	andere	7 %
		0 %
		25 %
		75 %
		0 %

An den deskriptiven Werten ist zu sehen, dass Experten später eine entspannte Sitzposition einnehmen und sich tendenziell mit anderen Tätigkeiten während der Fahrt beschäftigen. Der Zeitpunkt der ersten selbstständigen Abwendung scheint unabhängig von der Expertise zu sein.

4.3.4.3 Bewertung der automatisierten Fahrmanöver

Im Folgenden werden die Bewertungen der automatisierten Fahrmanöver in Abhängigkeit der Expertise und der fahrfremden Tätigkeiten aufgezeigt. Hierfür wird zunächst die Wahrnehmung der definierten Fahrmanöver überprüft.

Wahrnehmung der automatisierten Fahrmanöver

Abbildung 4-16 und Abbildung 4-17 zeigen den Anteil der wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver abhängig von der Expertise für die Hinfahrt (freie Wahl der fahrfremden Tätigkeit) und Rückfahrt

(Quiz spielen). Sowohl die Expertise ($F(1,447) = 10,62, p < 0,01, d_{Cohen} = 0,352$), die Instruktion der fahrfremden Tätigkeit ($F(1,447) = 61,06, p < 0,001, d_{Cohen} = 0,284$) als auch die automatisierten Fahrmanöver ($F(5,447) = 8,05, p < 0,001, d_{Cohen} = 0,358$) haben einen signifikanten Einfluss auf ihre Wahrnehmung. Des Weiteren gibt es einen Interaktionseffekt zwischen der Expertise und der fahrfremden Tätigkeit ($F(1,447) = 16,61, p < 0,001, d_{Cohen} = 0,441$). Zuletzt hat die Variable Versuchsfahrer keinen Einfluss auf die Wahrnehmung der automatisierten Fahrmanöver.

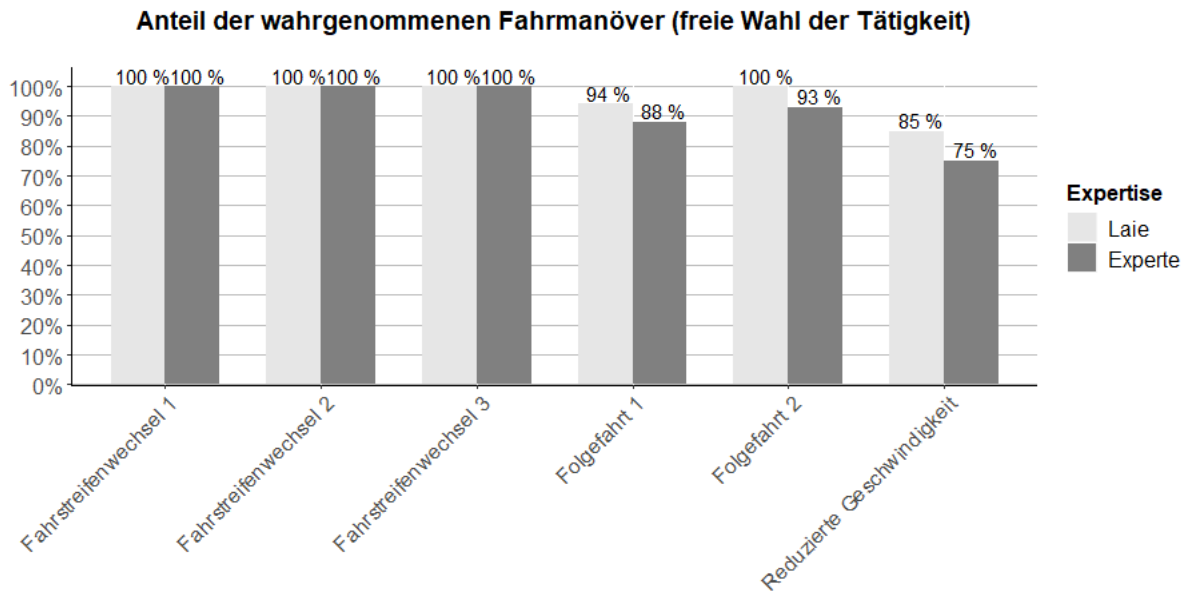


Abbildung 4-16: Anteil der wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise

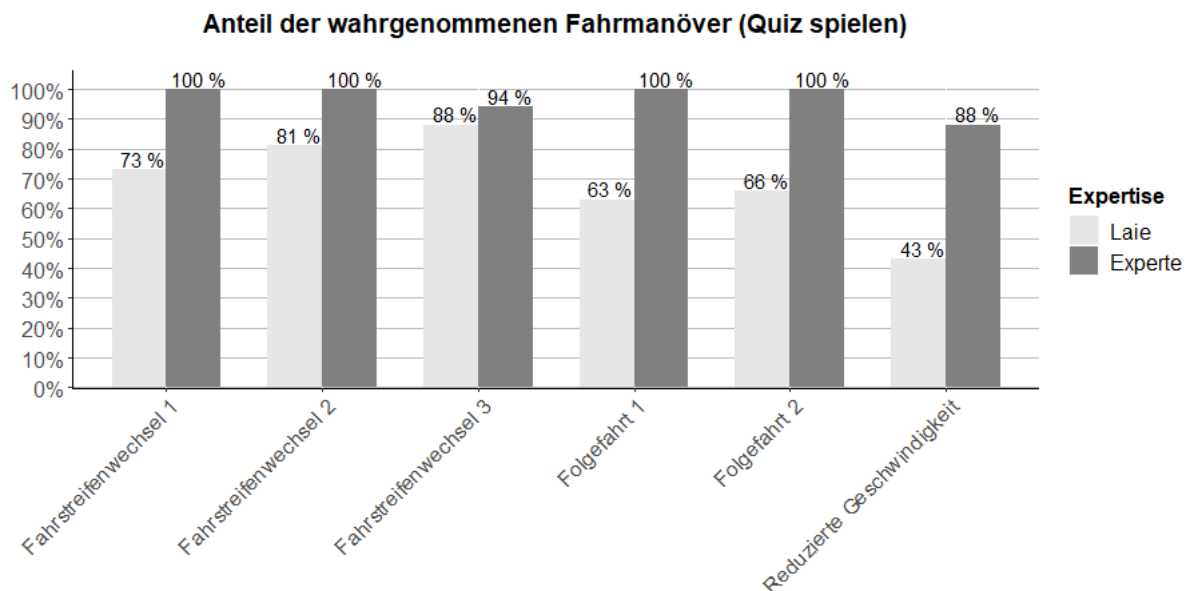


Abbildung 4-17: Anteil der wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise

Die Ergebnisse zeigen, dass die Expertise abhängig von der fahrfremden Tätigkeit einen unterschiedlichen Einfluss auf die Wahrnehmung der automatisierten Fahrmanöver hat. Bei der frei wählbaren Tätigkeit nehmen Experten die Fahrmanöver *Folgefahrten* und die *reduzierte Geschwindigkeit* tendenziell weniger wahr ($F(1,222) = 2,63, p = 0,110$; siehe Abbildung 4-16). Der Effekt kehrt sich um, wenn die

Versuchspersonen instruiert werden, ein Quiz zu spielen (siehe Abbildung 4-17). Hier nehmen Experten signifikant mehr wahr als Laien ($F(1,219) = 16,08, p < 0,001, d_{\text{Cohen}} = 1,58$). Für die Auswertung der subjektiven Bewertungen werden die nicht wahrgenommenen Fahrmanöver ausgeschlossen.

Mittelwert und Varianz der Bewertungen

Im Folgenden werden die subjektiven Bewertungen des Nutzererlebnisses in Abhängigkeit der Expertise und fahrfremden Tätigkeit für die Hinfahrt (siehe Abbildung 4-18) und Rückfahrt (siehe Abbildung 4-19) dargestellt. Die Bewertung des Nutzererlebnisses ist abhängig von der fahrfremden Tätigkeit ($F(1,447) = 19,16, p < 0,001, d_{\text{Cohen}} = 1,72$) und dem zu bewertenden Fahrmanöver ($F(5,447) = 24,53, p < 0,001, d_{\text{Cohen}} = 1,96$), jedoch hat die Nutzerexpertise keinen signifikanten Einfluss ($F(1,447) = 0,003, p = 0,954$).

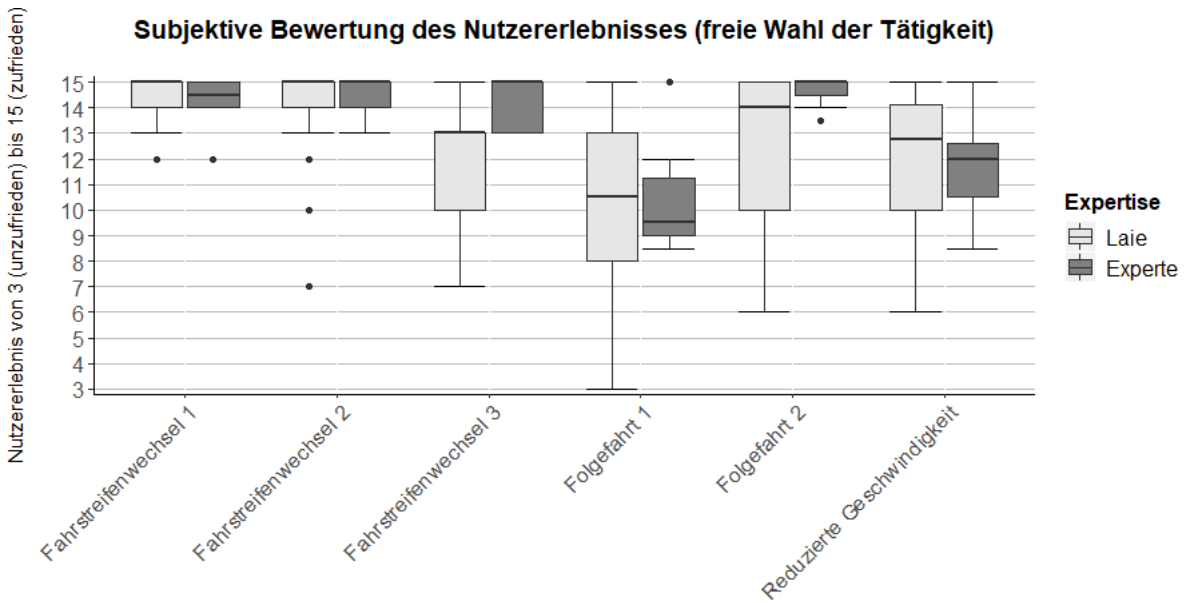


Abbildung 4-18: Subjektive Bewertung des Nutzererlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise

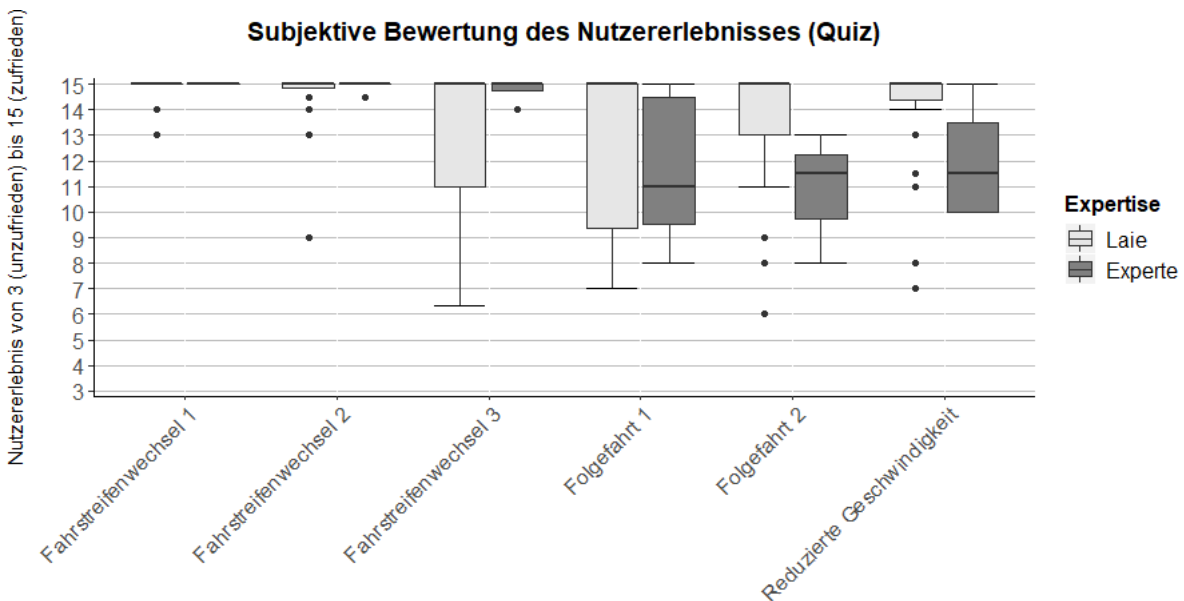


Abbildung 4-19: Subjektive Bewertung des Nutzererlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise

Während der Hinfahrt und frei wählbaren Tätigkeit ist zu sehen, dass Experten ihr Nutzererlebnis in einzelnen Fahrmanövern höher bewerten als Laien. Dieser Effekt scheint sich während der Rückfahrt und dem instruierten Quiz umzukehren.

Angelehnt an das Vorgehen von Galaske (2017) wird der Levene-Test für Gleichheit der Varianzen angewendet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Varianzen der Bewertungen zwischen Laien und Experten sich über alle automatisierten Fahrmanöver für die Hinfahrt nur tendenziell ($F(1,227) = 3,03, p = 0,083$) und für die Rückfahrt nicht signifikant voneinander unterscheiden ($F(1,224) = 1,14, p = 0,287$).

Mittelwert und Varianz der Bewertungen je Fahrmanöver

Um eine differenzierte Interpretation zu ermöglichen, werden die Bewertungen zwischen Laien und Experten je Fahrmanöver betrachtet. Tabelle 4-19 listet die deskriptiven Werte der Bewertungen der einzelnen Fahrmanöver auf und zeigt, ob sich die Mittelwerte der Bewertungen (Mann-Whitney-U-Test) und ihre Varianzen (Levene-Test) zwischen Laien und Experten signifikant voneinander unterscheiden.

Tabelle 4-19. Auswertung der Bewertung der automatisierten Fahrmanöver in Abhängigkeit der fahrfremden Tätigkeit und der Nutzerexpertise

<i>Fahrmanöver</i>	<i>Fahrfremde Tätigkeit</i>	<i>Bewertung: MW (SA)</i>		<i>Mann-Whitney-U-Test</i>	<i>Levene-Test</i>
		<i>Laien</i>	<i>Experten</i>		
Fahrstreifenwechsel 1	Freie Wahl	14,6 (0,74)	14,3 (1,04)	$p = 0,385$	$p = 0,375$
Fahrstreifenwechsel ohne Nachfolgeverkehr	Quiz spielen	14,9 (0,40)	15,0 (0,00)	$p = 0,423$	$p = 0,101$
Fahrstreifenwechsel 2	Freie Wahl	14,1 (1,62)	14,5 (0,76)	$p = 0,628$	$p = 0,391$
Fahrstreifenwechsel Einscheren in Kolonne	Quiz spielen	14,5 (1,13)	14,9 (0,19)	$p = 0,450$	$p = 0,104$
Fahrstreifenwechsel 3	Freie Wahl	11,8 (2,56)	14,2 (1,10)	$p < 0,05$	$p = 0,057$
Fahrstreifenwechsel mit Folgefahrzeug	Quiz spielen	12,9 (2,75)	14,8 (0,50)	$p = 0,299$	$p < 0,05$
Folgefahrt 1	Freie Wahl	10,2 (3,01)	10,4 (2,19)	$p = 0,870$	$p = 0,176$
Folgefahrt ohne Nachfolgeverkehr	Quiz spielen	12,5 (3,15)	11,7 (2,93)	$p = 0,495$	$p = 0,690$
Folgefahrt 2	Freie Wahl	12,6 (2,75)	14,64 (0,63)	$p = 0,089$	$p < 0,001$
Folgefahrt mit Kolonne	Quiz spielen	13,4 (2,40)	10,83 (2,57)	$p = 0,053$	$p = 0,945$
Reduzierte Geschwindigkeit	Freie Wahl	12,0 (2,76)	11,63 (2,18)	$p = 0,501$	$p = 0,138$
	Quiz spielen	13,7 (2,52)	12,0 (2,14)	$p < 0,01$	$p = 0,939$

Die Ergebnisse zeigen, dass Experten ihr Nutzererlebnis beim Fahrmanöver *Fahrstreifenwechsel 3* während der Hinfahrt signifikant höher sowie beim Fahrmanöver *reduzierte Geschwindigkeit* während der Rückfahrt signifikant niedriger als Laien bewerten. Das Fahrmanöver *Folgefahrt 2* bewerten Experten während der Hinfahrt tendenziell zufriedener, während der Rückfahrt tendenziell unzufriedener als Laien.

Die Varianzen der Bewertungen zwischen Laien und Experten unterscheiden sich signifikant bei den Fahrmanövern *Fahrstreifenwechsel 3* während der Rückfahrt sowie *Folgefahrt 2* während der Hinfahrt. Dabei haben Experten jeweils eine signifikant kleinere Varianz als Laien. Beim *Fahrstreifenwechsel 3* während der Hinfahrt gibt es eine Tendenz hierzu.

Bewertung weiterer Konstrukte des Erlebnisses

Die subjektive Bewertung dieser drei Fahrmanöver wird im Folgenden genauer betrachtet. Hierbei wird die Bewertung des Gefühls *Andere aufzuhalten* und *zügig voranzukommen* zwischen Laien und Experten für die Hin- und Rückfahrt verglichen. Beim *Fahrstreifenwechsel 3* (Fahrstreifenwechsel mit Folgefahrzeug; Abbildung 4-20) haben Experten während der Hinfahrt signifikant weniger das Gefühl *Andere aufzuhalten* als Laien ($W = 96,5, p < 0,05, \eta^2 = 11,2$). Während der Rückfahrt gibt es keinen signifikanten Unterschied ($W = 126,5, p = 0,356, \eta^2 = 3,2$). Das Empfinden *zügig voranzukommen* ist in diesem Manöver nicht abhängig von der Expertise.

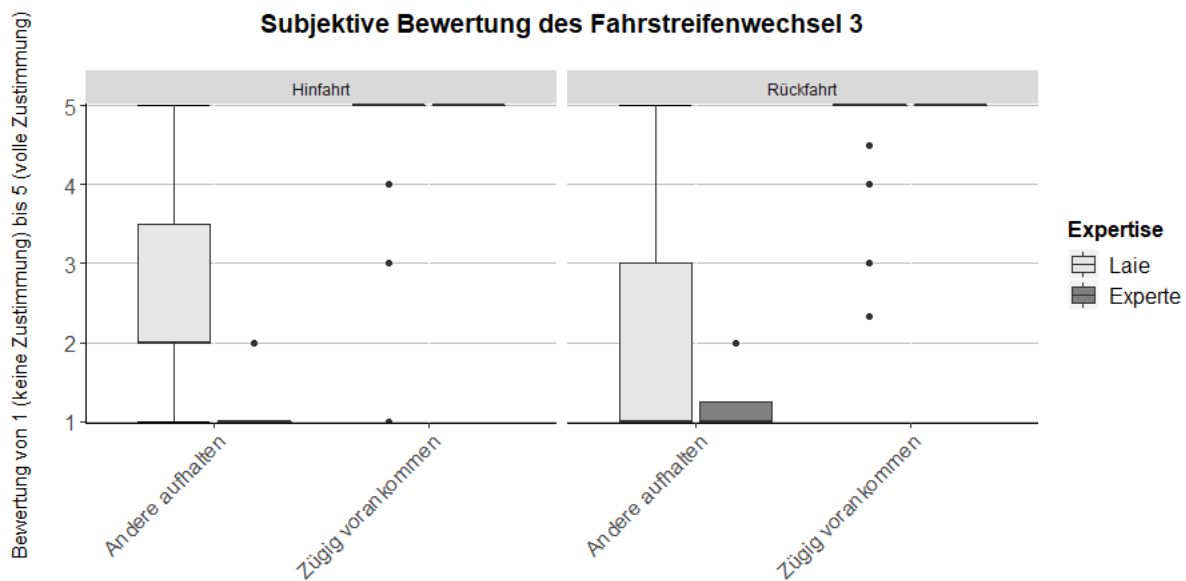


Abbildung 4-20: Subjektive Bewertung des automatisierten Fahrmanövers *Fahrstreifenwechsel 3* (mit Folgefahrzeug) während der Hin- und Rückfahrt

Bei der *Folgefahrt 2* (Folgefahrt mit vorbeifahrender Kolonne; Abbildung 4-21) haben Experten während der Hinfahrt signifikant stärker ($W = 49, p < 0,05, \eta^2 = 11,6$) und während der Rückfahrt signifikant weniger das Gefühl *zügig voranzukommen* ($W = 74, p < 0,05, \eta^2 = 11,4$).

Beim automatisierten Fahrmanöver *reduzierte Geschwindigkeit* (Abbildung 4-22) haben Experten während der Rückfahrt weniger das Gefühl *zügig voranzukommen* ($W = 216, p < 0,01, \eta^2 = 10,1$).

In den beiden letzten Fahrmanövern gibt es keinen signifikanten Einfluss der Expertise auf das Empfinden *Andere aufzuhalten*.

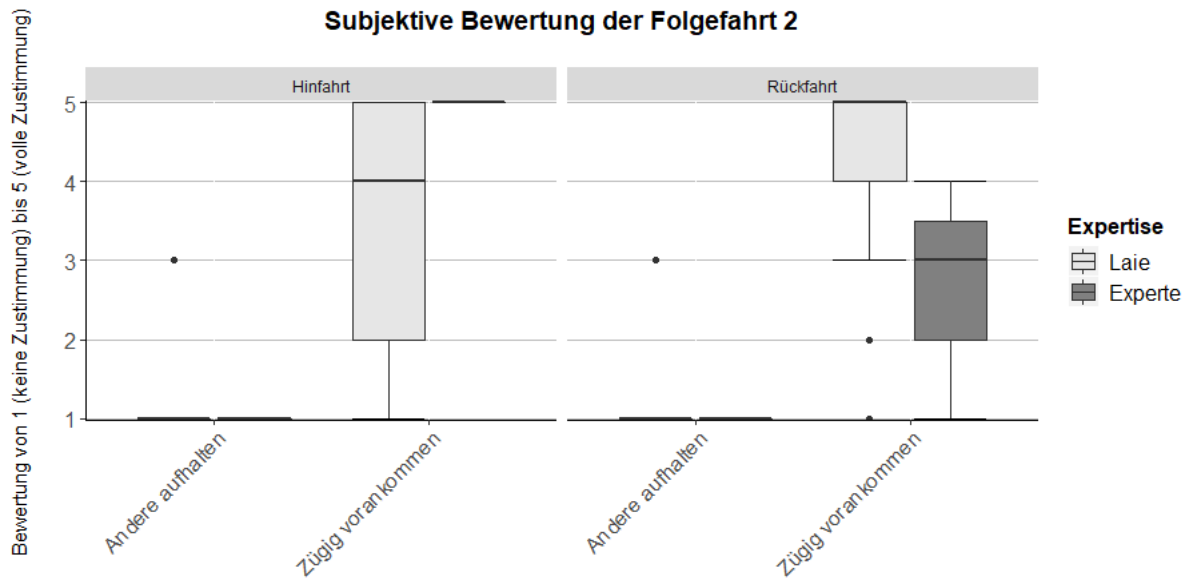


Abbildung 4-21: Subjektive Bewertung des automatisierten Fahrmanövers *Folgefahrt 2* (mit vorbeifahrender Kolonne) während Hin- und Rückfahrt

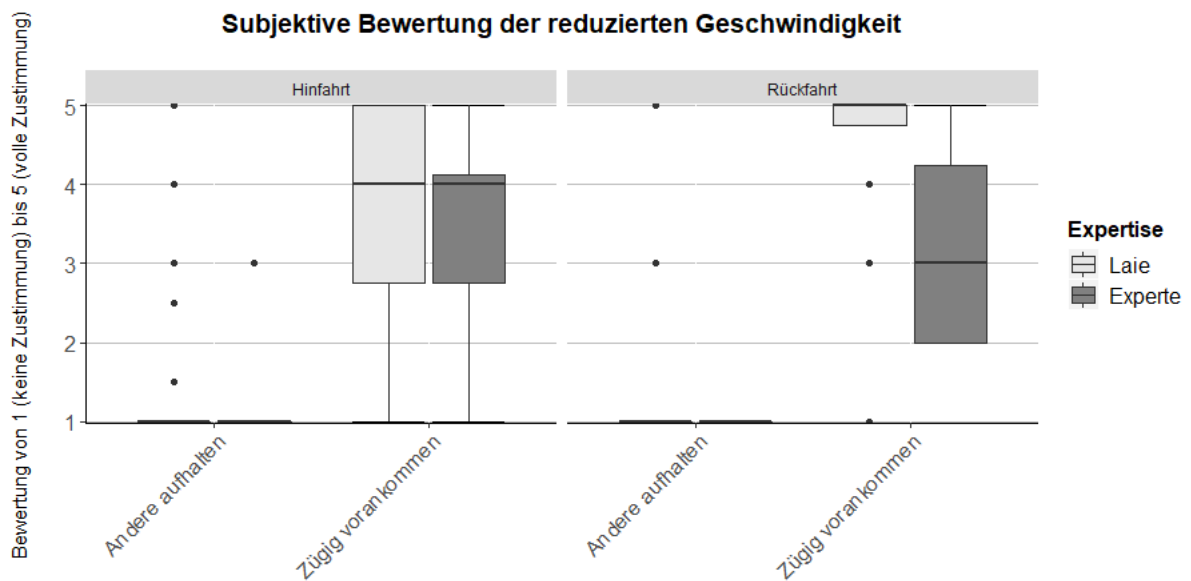


Abbildung 4-22: Subjektive Bewertung des automatisierten Fahrmanövers reduzierte Geschwindigkeit während Hin- und Rückfahrt

4.3.4.4 Bewertung der gesamten Fahrt

Im Folgenden werden die Bewertungen bezogen auf die gesamte automatisierte Fahrt zwischen Laien und Experten verglichen. Der Abschlussfragebogen ist im Anhang B zu finden.

Analog zu Studie 1 und den Erkenntnissen von Gold et al. (2018) werden für Laien und Experten hohe Akzeptanz-, Vertrauens- und Komfortbewertungen gemessen. Tabelle 4-20 zeigt die auf einer siebenstufigen Likert-Skala bewerteten Konstrukte Gesamtzufriedenheit, Sicherheitsempfinden, Komfortempfinden, Vertrauen und Entspannung. Die Bewertung aller Konstrukte ist signifikant abhängig von der Expertise (siehe Tabelle 4-20). Wie zu sehen, bewerten Experten das Gesamterlebnis der ganzen Fahrt

sowie das entsprechende Empfinden bezüglich der Sicherheit, dem Komfort, Vertrauen sowie der Entspannung signifikant niedriger.

Tabelle 4-20. Vergleich der subjektiven Abschlussbewertungen der gesamten Fahrt

	<i>Laien</i>	<i>Experten</i>	<i>Mann-Whitney- U-Test</i>	<i>Levene-Test</i>
Gesamtzufriedenheit	6,37 (0,70)	5,63 (0,52)	p < 0,01	p = 0,187
Sicherheitsempfinden	6,59 (0,77)	5,75 (0,89)	p < 0,01	p = 0,776
Komfortempfinden	6,66 (0,53)	5,75 (1,28)	p < 0,05	p < 0,001
Vertrauen	6,54 (0,71)	5,63 (1,41)	p < 0,05	p < 0,05
Entspannung	6,59 (0,59)	5,63 (0,92)	p < 0,01	p = 0,108

Angelehnt an das Vorgehen in Studie I werden die Versuchspersonen im Anschluss an die Versuchsfahrt qualitativ nach prägenden Erlebnissen befragt. Es sollen Gründe genannt werden, die sich besonders positiv (siehe Abbildung 4-23) bzw. besonders negativ (siehe Abbildung 4-24) auf das Nutzererlebnis ausgewirkt haben. Die Ergebnisse zeigen den besonderen Stellenwert der empfundenen Entspannung für Laien im Vergleich zu den Experten. Im Gegensatz dazu benennen Experten den fehlenden Fahrstreifenwechsel bei Folgefahrt I (freie Nebenspur) häufiger als wesentlichen Grund für ein negatives Nutzererlebnis als Laien.

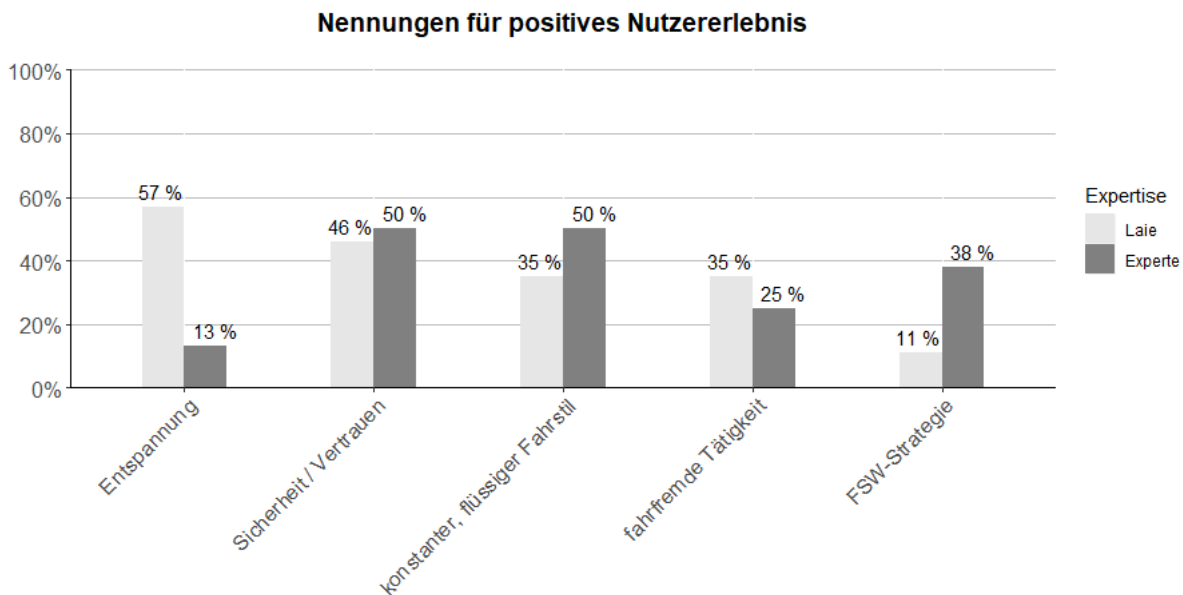


Abbildung 4-23: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für positives Nutzererlebnis in Abhängigkeit der Nutzerexpertise

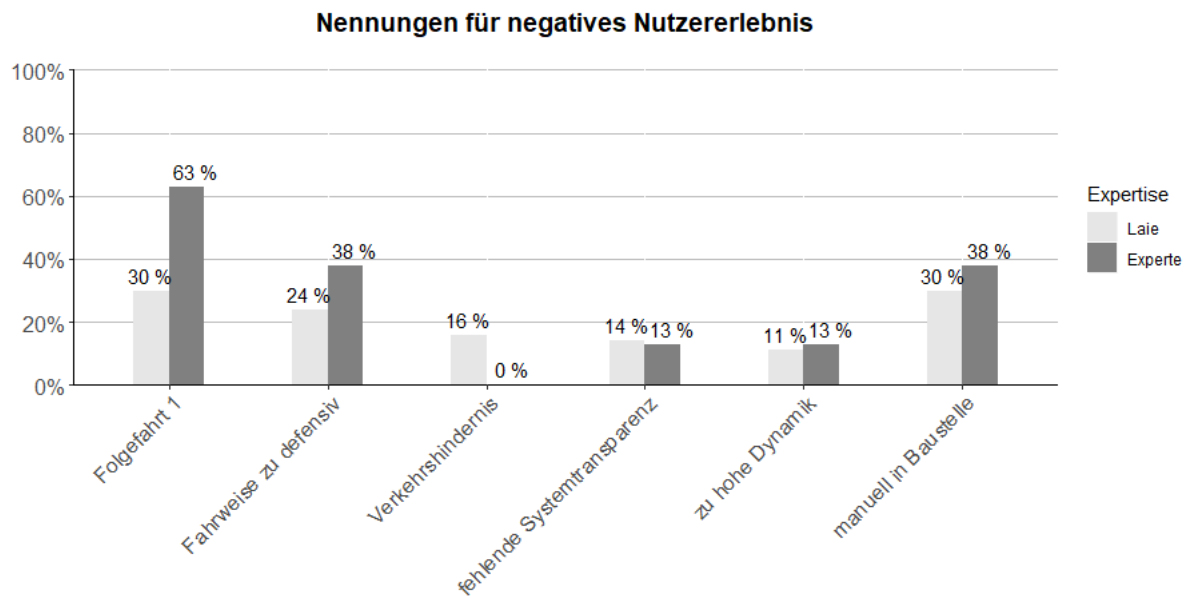


Abbildung 4-24: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für negatives Nutzererlebnis in Abhängigkeit der Nutzerexpertise

4.3.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für weitere Versuchsreihen

Die Ergebnisse der Studie 2 stellen die empirische Grundlage dar, um den Einfluss der Nutzerexpertise sowie der fahrfremden Tätigkeit auf die Bewertung automatisierter Fahrmanöver zu untersuchen.

Hypothese 3 (Experten bewerten kritischer)

Für den Einfluss der Expertise auf die Bewertung des Nutzererlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern wird die Hypothese nicht angenommen. Der Unterschied der Bewertung zwischen Laien und Experten hängt von der fahrfremden Tätigkeit sowie dem Fahrmanöver ab und muss stets differenziert betrachtet werden. Dennoch gibt es automatisierte Fahrmanöver, die im Zusammenhang mit der fahrfremden Tätigkeit von Experten und Laien unterschiedlich bewertet werden. Hierbei ist auch das Empfinden andere Verkehrsteilnehmer aufzuhalten und selbst zügig voranzukommen relevant.

So bewerten Experten ihr Nutzererlebnis beim Fahrmanöver *Fahrstreifenwechsel 3* signifikant höher als Laien, wenn sie nicht abgewendet sind. Auch das Fahrmanöver *Folgefahrt 2* bewerten Experten ohne Abwendung tendenziell zufriedener. Grund hierfür ist die Sensibilität gegenüber dem Gefühl sich als Verkehrshindernis zu fühlen und Andere aufzuhalten. Dies ist bei den genannten Fahrmanövern bei Laien stärker ausgeprägt als bei Experten. Des Weiteren bewerten Experten eine Folgefahrt trotz des fehlenden Überholmanövers (*Folgefahrt 2*) tendenziell besser als Laien und haben stärker das Gefühl zügig voranzukommen. Dies kann am erhöhten Systemverständnis der Experten liegen, wodurch sie die scheinbare Unsicherheit des Automationssystems erklären können.

Betrachtet man hingegen nur den Zeitraum nach der Fahrt und die retrospektivische Bewertung des automatisierten Erlebnisses kann die Hypothese angenommen werden. Hier bewerten Experten in allen untersuchten Konstrukten kritischer als Laien. Hierbei werden auch Unterschiede in den Einflussfaktoren

auf die Gesamtbewertung deutlich. Experten legen weniger Wert auf die Entspannung während der Fahrt und mehr Wert auf die gesamte Fahrstrategie und einen nicht zu defensiven Fahrstil.

Auch der Vergleich von Experten mit Untergruppen der Laien – wie beispielsweise Laien eines bestimmten Geschlechts, Laien mit überdurchschnittlich hoher Fahrerfahrung oder Eigentümer einer bestimmten Fahrzeugmarke – haben keinen systematischen Effekt gezeigt.

Hypothese 4 (Experten bewerten mit kleinerer Varianz)

Für den Einfluss der Expertise auf die Varianz der Bewertung des Nutzererlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern wird die Hypothese nicht angenommen. Auch hier hängt die Varianz von den fahrfremden Tätigkeiten und dem Fahrmanöver ab.

Aus der detaillierten Auswertung einzelner automatisierter Fahrmanöver wird deutlich, dass Experten beim Fahrstreifenwechsel mit Folgefahrzeug weniger das Gefühl haben, andere Verkehrsteilnehmer aufzuhalten (Fahrstreifenwechsel 3) und ein Verkehrshindernis zu sein (qualitative Abschlussbefragung). Dieser Effekt tritt unabhängig von der fahrfremden Tätigkeit ein. So wird die gewählte Strategie für Fahrstreifenwechsel von Experten häufiger als positiven Einflussfaktor gesehen.

Weiterhin haben Experten bei einer Folgefahrt ohne Fahrstreifenwechsel und mit vorbeifahrender Kolonne mehr das Gefühl, zügig voranzukommen, wenn Sie nicht abgewendet sind (Folgefahrt 2, Hinfahrt). Bei einer Abwendung kehrt sich der Effekt um und das Gefühl zügig voranzukommen wird von Experten schlechter bewertet als von Laien (Folgefahrt 2, Rückfahrt). Das höhere Systemverständnis der Experten kann zu einer höheren Akzeptanz einer solchen Fahrsituation führen. Experten können hierbei die allgemeine Kritikalität und den Kontext der Situation detaillierter bewerten (Galaske, 2017) und hierzu die Lückengröße und das Risiko eines Fahrstreifenwechsels bei hoher Verkehrsdichte berücksichtigen. Aufgrund der höheren Entspannung der Laien (quantitative und qualitative Abschlussbefragung) kann sich dieser Effekt bei einer höheren Abwendung des Nutzers umkehren. Experten sind bei einer instruierten fahrfremden Tätigkeit aufmerksamer und können sich weniger entspannen. Dies kann bedingt sein durch die Teilnahme an der Studie während der Arbeitszeit, die soziale Erwünschtheit und die subjektive Verknüpfung der Befragung mit ihrer beruflichen Tätigkeit. Diese Rahmenbedingungen können auch Grund für die motivationale Verzerrung der Experten in der Abschlussbefragung und die durchgehend kritischere Bewertung in allen Items sein.

Zuletzt wird deutlich, dass bei einer instruierten Tätigkeit Experten eine reduzierte Geschwindigkeit häufiger wahrnehmen und diese unzufriedener bewerten. Auch dies kann mit der fehlenden Entspannung, sozialen Erwünschtheit und der allgemein kritischeren Einstellung zur gesamten Fahrt der Experten zusammenhängen.

Limitationen

Ziel der detaillierten Definition der automatisierten Fahrmanöver ist es, den Einfluss anderer Störvariablen auf ihre Bewertung zu senken und die Reliabilität des Versuches zu gewährleisten. Dennoch kann beispielsweise die Verkehrsdichte als Teil der Realumgebung nicht kontrolliert werden und kann Einfluss auf das gesamthafte Nutzererlebnis der Probanden haben. Dem wird durch Permutation und gleichmäßige Verteilung der Tageszeitpunkte der Versuchsfahrten entgegengewirkt.

Die Auswertungen zur Objektivität, Reliabilität und Validität der Versuchsmethodik Wizard-of-Oz haben Schwächen gezeigt. So konnten – im Vergleich zur Studie 1 – durch den Einsatz einer detaillierteren Instruktion sowie Definition der Fahrmanöver, die Reduktion der Anzahl der Versuchsfahrer und ihre Gewöhnung an den Wizard-of-Oz-Aufbau die Gütekriterien verbessert werden. Nichtsdestotrotz sind Unterschiede in einzelnen Dynamikwerten der Wizards zu sehen. So zeigen beide Versuchsfahrer eine unterschiedliche Querdynamik in ihren Fahrmanövern, die jedoch auf das bewertete und untersuchte Nutzererlebnis keinen Einfluss zu haben scheint.

Es wird deutlich, dass der Fahrstil der Wizard-of-Oz-Fahrer im Vergleich zu einem realen automatisierten Versuchsfahrzeug defensiver und komfortabler ist. Dies ist den strengen Maßnahmen zur Sondergenehmigung des Fahrzeugs und zur Gewährleistung der Sicherheit der Probanden geschuldet. Des Weiteren kann der frühe Entwicklungsstand der realen Prototypen Einfluss auf das Fahrverhalten und den daraus resultierenden wahrgenommenen Komfort haben.

Bei der Untersuchung der Expertise und ihres Einflusses auf die Bewertung des Nutzererlebnisses beim automatisierten Fahren werden die bereits beschriebenen Limitationen von Expertenbefragungen sichtbar. Die eingesetzten Experten sind Mitarbeiter des Unternehmens und besetzen in ihrem Beruf alle eine kritische und bewertende Rolle. Dies kann in einer erhöhten Aufmerksamkeit während der Fahrt resultieren. Die bereits diskutierte Tendenz kritischer als Laien zu bewerten, wird bei der Expertenbewertung besonders in der Abschlussbefragung zur gesamten Fahrt deutlich. Hier zeigen Experten eine kritischere Haltung und gewichten den Faktor Entspannung niedriger als Laien, was an der Arbeitssituation und der beruflichen Rolle liegen kann.

Eine weitere Limitation liegt im Erstkontakt der Laien mit der automatisierten Fahrfunktion und der gleichzeitig großen Erfahrung der Experten. So können sich – wie im Kapitel 3.2.4 diskutiert – die Wahrnehmung der Qualitäten einer automatisierten Fahrt und die Einstellung hierzu über die Zeit der Nutzung verändern. Folglich gewichten Nutzer mit hoher Nutzungserfahrung die Merkmale des Systems anders. Zum einen können der Erstkontakt der Laien und die resultierende Euphorie durch die Studienteilnahmen zu überdurchschnittlich hohen und positiven Rückmeldungen führen. Zum anderen kann der zeitliche Vorsprung der Experten kann zu Unterschieden in der Bewertung führen.

Zuletzt wurde die Befragung der Wahrnehmung der Fahrmanöver umformuliert, um eine Suggestivfrage zu vermeiden. Des Weiteren wurde durch eine qualitative Nachbefragung die Rückmeldung zur Wahrnehmung durch den Versuchsleiter validiert und notfalls korrigiert. Nichtsdestotrotz kann nicht ausgeschlossen werden, dass insbesondere Experten sich in ihrer Rolle gezwungen fühlen Studieninhalte stets wahrzunehmen und beantworten zu können.

4.4 Studie 3: Bewertung der Fahrstrategie beim automatisierten Fahren im Fahrsimulator

In Folgenden werden Vorgehensweise, Auswertung und Ergebnisse der Studie kompakt dargestellt. Eine Beschreibung der Methodik, Durchführung und Ergebnisse ist auch in Omozik, Kuntermann, Forster, Venrooij und Bengler (im Druck) zu finden.

Tabelle 4-21. Kurzübersicht der Studie *Bewertung der Fahrstrategie beim automatisierten Fahren im Fahrsimulator*

Forschungsfrage 1	Welchen Einfluss hat die Versuchsumgebung auf die Bewertung einzelner automatisierter Fahrmanöver sowie der gesamten Fahrt?
Forschungsfrage 2	Ist die Diskrepanz der Bewertung zwischen Experten und Laien im Wizard-of-Oz „Fond“ und dynamischen Fahrsimulator unterschiedlich?
Ziel	Vergleich des Fahrsimulators und des Wizard-of-Oz-Versuchsträger „Fond“ als Absicherungsmethodik für das Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren
Versuchshypothese 5	H5: Die Erlebnisbewertung der automatisierten Fahrmanöver im dynamischen Fahrsimulator ist besser als im Realversuch im Wizard-of-Oz „Fond“.
Versuchshypothese 6	H6: Der Unterschied der Erlebnisbewertung der automatisierten Fahrmanöver zwischen hoher und geringer Expertise unterscheidet sich nicht zwischen Fahrsimulation und Realversuch im Wizard-of-Oz „Fond“.
Methodik	Probandenstudie (N = 48) Dynamischer Fahrsimulator Fahrmanöverbasierte Befragung
Unabhängige Variablen	Expertise (Experten, Laien) Automatisierte Fahrmanöver (3 Fahrstreifenwechsel, 2 Folgefahrten, reduzierte Geschwindigkeit) Instruktion der fahrfremden Tätigkeit
Abhängige Variablen	Bewertung des Nutzererlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern und nach der automatisierten Fahrt Nutzerverhalten

4.4.1 Untersuchungsziel

Mit Hilfe der Studie 1 und 2 wurden Erkenntnisse bezüglich des Einflusses von Abwendung und Nutzerexpertise auf die Bewertung automatisierter Fahrmanöver gewonnen. Die abschließende Studie 3 soll diese Beobachtungen in einem Fahrsimulator reproduzieren. Hierbei wird die Eignung dieser Versuchsumgebung als Absicherungsmethodik des Nutzererlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern evaluiert.

Fahrsimulatoren wurden entwickelt, um Kosten zu vermeiden, die interne Validität zu steigern und das Nutzerverhalten in frühen Entwicklungsphasen oder potentiell gefährlichen Situationen zu untersuchen (Allen, Rosenthal & Cook, 2011). Im Kontext des automatisierten Fahrens können Simulatoren ein konsistentes Fahrverhalten gewährleisten und die in Abschnitt 2.4.2 beschriebenen Störvariablen wie Verkehrsdichte, Wetter und Straßenbedingungen kontrollieren (Caird & Horrey, 2011; Muehlbacher, Engelhardt, Forster & Rademacher, 2018).

Herausforderungen bei der Durchführung einer Probandenstudie im Fahrsimulator sind die Nachbildung der Realität sowie die Übertragung der Ergebnisse auf das reale Nutzerverhalten. So kann die reduzierte Risikowahrnehmung in einem Fahrsimulator Emotionen und Nutzerverhalten beeinflussen und sich positiv auf das Vertrauen und Erlebnis der Probanden auswirken (Caird & Horrey, 2011). Weiterhin ist die Wahrnehmung der Geschwindigkeiten und Abstände in einem Simulator verändert, was unter anderem durch die geringere optische Bildschärfe bedingt sein kann (Abendroth et al., 2012; Negele, 2007). Omozik et al. (Im Druck) postulieren aus diesen veränderten Wahrnehmungen und dem gesunkenen Risikoempfinden eine positivere Bewertung automatisierter Fahrmanöver im Simulator als im Realverkehr. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass sich die simulierte Versuchsumgebung und veränderte Wahrnehmung gleichermaßen auf Probanden (mit unterschiedlicher Expertise) und ihre kognitiven und motivationalen Verzerrungen auswirken.

Die Forschungsfrage, die aus dieser Diskussion entsteht, ist, wie Laien und Experten automatisierte Fahrmanöver im Fahrsimulator im Vergleich zum Wizard-of-Oz im Realverkehr bewerten. Zum einen liegt hier der Fokus auf der Diskrepanz zwischen der Erlebnisbewertung durch Laien und Experten. Zum anderen stellt sich die Frage, inwieweit die beschriebenen veränderten Wahrnehmungen im Simulator (im Vergleich zum Realverkehr) die Bewertung des Nutzererlebnisses beeinflussen.

Für die Studie 3 werden folgende zwei Versuchshypothesen formuliert und überprüft:

H5: Die Erlebnisbewertung der automatisierten Fahrmanöver im dynamischen Fahrsimulator ist höher als im Realversuch im Wizard-of-Oz „Fond“.

H6: Der Unterschied der Erlebnisbewertung der automatisierten Fahrmanöver zwischen hoher und geringer Expertise unterscheidet sich nicht zwischen Fahrsimulation und Realversuch im Wizard-of-Oz „Fond“.

4.4.2 Methode

Im Folgenden wird der Versuchsaufbau – inklusive der Stichprobe und den angepassten automatisierten Fahrmanövern – im Detail beschrieben.

4.4.2.1 Probandenkollektiv

Ziel dieser Studie ist es die Studie 2 in einer simulierten Versuchsumgebung zu reproduzieren. Um den Einfluss relevanter personenbezogenen Merkmale gering zu halten, wird die Untersuchungsgruppe aus Studie 2 parallelisiert. Beim sogenannten Matching sorgt man in den beiden Stichproben für eine annähernd vergleichbare Verteilung der Kriterien wie Stichprobengröße, Geschlecht und Alter (Bortz & Schuster, 2010).

Analog zur Studie 2 werden hier die identischen Anforderungen für das Probandenkollektiv definiert. Im Anschluss beschreibt Tabelle 4-22 das Probandenkollektiv der Studie 3 der Laien und Experten sowie der Untersuchungsgruppe aus der Studie 2.

Anforderung an das Probandenkollektiv

- Keine Mitarbeiter der BMW Group
- Keine Tätigkeit in der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen oder automatisierten Fahrfunktionen
- Regelmäßige Teilnahme am Straßenverkehr (mindestens einmal wöchentlich)
- Alter zwischen 20 und 65 Jahren
- Noch nicht an einer Studie zum automatisierten Fahren teilgenommen

Tabelle 4-22. Beschreibung des Probandenkollektivs (N = 40)

		<i>Laien (Studie 2)</i>	<i>Laien</i>	<i>Experten</i>
Stichproben- größe		N = 41	N = 40	N = 8
Alter	Mittelwert	41,6 Jahre	40,6 Jahre	37,6 Jahre
	(SA)	(11,50)	(11,56)	(5,55)
	Bereich	20 – 65 Jahre	21 – 59 Jahre	31 – 46 Jahre
Geschlecht		25 x männlich	23 x männlich	8 x männlich
		16 x weiblich (39 %)	17 x weiblich (43 %)	
Führerschein- besitz	Mittelwert	23,8 Jahre	21,7 Jahre	19, 8 Jahre
	(SA)	(11,51)	(11,60)	(5,71)
Marke eigenes Fahrzeug	BMW	51 %	38 %	63 %
	andere Marke	49 %	62 %	37 %

4.4.2.2 Fahrsimulator

Für den Versuch wurde der dynamische Fahrsimulator der BMW Group in München verwendet (siehe Kapitel 2.4). Die Kuppel bewegt sich auf einem Hexapod in drei Dimensionen und erzeugt sechs Freiheitsgrade. Durch die maximale Translation von ± 1.2 m und die maximale Rotation von ± 30 Grad kann eine maximale Beschleunigung von 7 m/s^2 realisiert werden. Die Probanden sitzen in der Kuppel in einem Fahrzeugmodell eines 7er BMW und haben ein projiziertes Sichtfeld von 240 Grad (horizontal). Wie in Abbildung 4-25 sichtbar konnte analog zum Wizard-of-Oz-Versuch der Rückspiegel nicht genutzt werden.

Wie in Abschnitt 2.4.2 beschrieben hat ein Fahrsimulator Einfluss auf die Wahrnehmung der Geschwindigkeit, der Abstände zu anderen Fahrzeugen und des allgemeinen Risikos. Dies kann sich auf die Wahrnehmung und die Bewertung der definierten automatisierten Fahrmanöver auswirken (Omozik et al., im Druck). Um die Realitätsnähe der Simulation zu gewährleisten und das Empfinden der genannten Kriterien zu verbessern, werden unterschiedliche Maßnahmen eingesetzt. Die Einbindung von Objekten in der simulierten Landschaft beispielsweise (siehe Abbildung 4-25) wirkt sich positiv auf die Wahrnehmung der Geschwindigkeit aus (Abendroth et al., 2012; Kemeny & Panerai, 2003). Ein weites Sichtfeld und leistungsstarke Projektoren verbessern unter anderem die Einschätzung von Abständen (Jamson, 2011). Nichtsdestotrotz wurden die relevanten Abstände zu den Vorderfahrzeugen durch eine subjektive Expertenabschätzung an die Realverkehrsstudie 2 angeglichen. Im Simulator wurden folglich geringere Abstände eingesetzt, um ein ähnliches Abstandsempfinden zu erzeugen. Zuletzt kann durch die Simulation der Motor-, Verkehrs- und Umgebungsgeräusche ein realitätsnähere Risikoempfindung erreicht werden (Jamson, 2011). Alle Maßnahmen wurden durch einen Vergleich zur Realverkehrsstudie angepasst. Die simulierte Landschaft wurde mit Hilfe von Videoaufnahmen aus der Studie 2 und die Geräuschkulissen mit Hilfe von Lautstärkemessungen im Wizard-of-Oz-Fahrzeug abgeleitet.



Abbildung 4-25: Fahrzeugmodell und Projektion im dynamischen Fahrsimulator

4.4.2.3 Fahrmanöver und Befragung

Ziel der Studie 3 ist es die identischen automatisierten Fahrmanöver aus Studie 2 (siehe Abschnitt 4.3.2.3) in der Fahrsimulation nachzubilden und bewerten zu lassen. Aufgrund des hohen Programmieraufwandes können die Fahrmanöver für jede Versuchsperson im Gegensatz zur Studie 2 nicht zufällig erlebt werden. Um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, werden die Fahrmanöver folglich in drei unterschiedlichen Reihenfolgen erstellt, wobei jeder Proband zwei Reihenfolgen in jeweils der Hin- und Rückfahrt erlebt.

Die fahrmanöverbasierte Befragung wird mit der in Abschnitt 4.3.2.4 beschriebenen Skala durchgeführt. Im Gegensatz zum Wizard-of-Oz-Versuch befindet sich der Versuchsleiter nicht auf dem Beifahrersitz neben der Versuchsperson, sondern im Versuchsleitstand. Er kommuniziert über Mikrofon und Lautsprecher mit dem Probanden und kann diesen über Kameras observieren.

4.4.2.4 Versuchsstrecke

Der Versuch ist unterteilt in eine Eingewöhnungsfahrt und zwei Versuchsfahrten, die die Hin- und Rückfahrt des Realversuches nachstellten und in denen die Versuchsperson die definierten Fahrmanöver bewertet.

Eingewöhnungsfahrt

Die Eingewöhnungsfahrt beginnt auf einem Rastplatz und hat eine Länge von 20 km. Dabei fährt die Versuchsperson manuell auf eine zweispurige Autobahn auf und kann sich ohne Fremdverkehr an das Fahrzeug sowie das Lenk- und Beschleunigungsverhalten im manuellen Fahrmodus gewöhnen. Danach aktiviert der Proband den automatisierten Fahrmodus für eine Länge von 10 km bzw. eine durchschnittliche Dauer von 4:54 min (SA = 0,4 min). Während der automatisierten Fahrt erleben die Probanden drei Fahrstreifenwechsel, danach fahren sie manuell für 7 km. Abbildung 4-26 zeigt schematisch die Abschnitte der Eingewöhnungsfahrt.



Abbildung 4-26: Eingewöhnungsfahrt mit manuellen (orange) und automatisierten Teilabschnitten (blau)

Versuchsstrecke

Abbildung 4-27 zeigt die 55 km lange Versuchsstrecke 1-2-3-4. Diese wird zweimal befahren und dauert jeweils 30:30 min (SA = 0,33 min), wobei pro Versuchsperson zwei der drei möglichen Reihenfolgen der automatisierten Fahrmanöver eingesetzt werden. Wie im Realversuch wird der automatisierte Streckenabschnitt 1-2-3-4 durch eine Baustelle 2-3 unterbrochen, die manuell durchfahren wird. Der Abschnitt 1-2 ist 23 km lang und dauert im Mittel 11:32 min (SA 0,35 min), die Baustelle 4 km lang bei 3:34 min (SA = 0,37 min) und Abschnitt 3-4 ist 28 km lang bei 13:14 min (SA = 0,5 min).

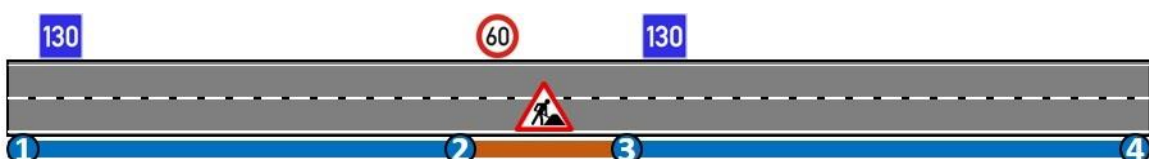


Abbildung 4-27: Versuchsstrecke mit Baustelle (orange) und automatisierten Teilabschnitten (blau)

4.4.3 Versuchsdurchführung

Der Versuchsablauf ist angelehnt an den Ablauf der Studie 2. Nach der Begrüßung durch eine Assistenz wird die Versuchsperson über die Versuchsinhalte, den Fahrsimulator, die automatisierte Fahrfunktion, und den Ablauf informiert und füllt den Vorfragebogen aus (siehe Anhang C). In der Vorbefragung wird unter anderem die Immersionseigenschaft des Probanden (*Immersion Tendencies Questionnaire, ITQ*) und das aktuelle Wohlbefinden mit Hilfe des *Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)* gemessen. Die Instruktion beinhaltet ebenso eine obligatorische Sicherheitseinweisung in den Simulator. Anschließend wird der Proband zum Fahrzeugmodell im Simulator geführt (siehe Abbildung 2-17).

Während der Eingewöhnungsfahrt hat der Proband die Möglichkeit sich auf einem Autobahnabschnitt an das Lenk- und Fahrverhalten im Fahrsimulator jeweils im manuellen und automatisierten Fahrmodus zu gewöhnen. Analog zur Studie 2 wird im ersten Teil der Versuchsfahrt (Hinfahrt) die freie Wahl der Tätigkeit angeboten, während der Rückfahrt sind die Probanden instruiert ein Quiz zu spielen. Das Quiz wird über Touch-Eingabe am Bildschirm in der Mittelkonsole bedient (kognitive, visuelle und motorische Abwendung). Am Ende der jeweiligen Fahrt wird der Proband instruiert manuell auf einen Rastplatz zu fahren und dort anzuhalten. Die manuelle Fahrt während der Baustelle sowie die Abfahrt von der Autobahn werden rechtzeitig (2 min davor) verbal durch den Versuchsleiter sowie durch eine Übernahmeaufforderung (45 Sekunden) akustisch und visuell im Kombiinstrument angekündigt. Die drei Übernamesituationen stehen nicht im Fokus des Versuches und werden dementsprechend instruiert.

Nach dem Versuch (siehe Anhang C) bewertet die Versuchsperson neben dem allgemeinen Erlebnis der automatisierten Fahrt erneut das aktuelle Wohlbefinden (SSQ). Der gesamte Versuchsablauf ist schematisch in Abbildung 4-28 dargestellt.

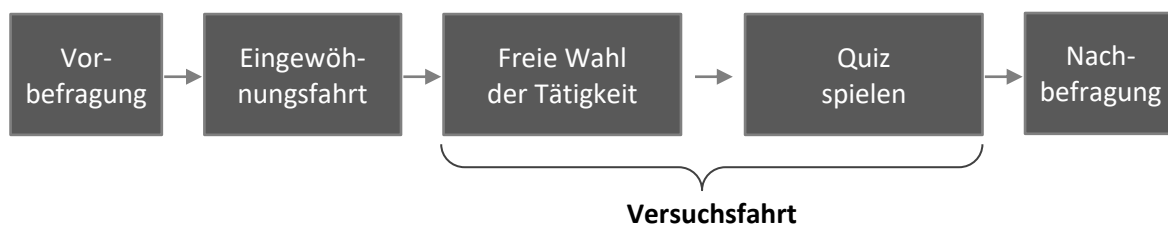


Abbildung 4-28: Versuchsablauf der Studie 3

4.4.4 Versuchsauswertung

Analog zur Studie 1 und 2 beginnt das Ergebniskapitel mit der Überprüfung der Gütekriterien. Anschließend wird die Wahrnehmung der automatisierten Fahrmanöver im Simulator explorativ ausgewertet. Zuletzt wird die Bewertung der einzelnen Manöver sowie der gesamten automatisierten Fahrt dargestellt.

4.4.4.1 Überprüfung der Gütekriterien

Zu Beginn des Auswertungskapitels wird die Einhaltung der drei wissenschaftlichen Gütekriterien überprüft. Aufgrund der Versuchsdurchführung im Simulator und dem Einsatz von einer automatisierten Funktionsregelung werden in Studie 3 Objektivität und Reliabilität gesamthaft betrachtet.

Objektivität & Reliabilität

Analog zur Studie 2 wird (aufgrund der identischen Konstellation innerhalb der Fahrstreifenwechsel 1 bis 3 sowie der Folgefahrt 1 und 2) die Reliabilität der Fahrdynamik mit Hilfe der Manöver *Fahrstreifenwechsel 1*, *Folgefahrt 1* und *reduzierte Geschwindigkeit* dargestellt. Tabelle 4-23 zeigt die Dynamik-Kenngrößen sowie die gemessenen Mittelwerte (und Standardabweichung) in Abhängigkeit der drei Fahrmanöver.

Tabelle 4-23. Dynamik der automatisierten Fahrmanöver

		<i>Fahrstreifenwechsel 1</i>	<i>Folgefahrt 1</i>	<i>reduzierte Geschwindigkeit</i>
	Anzahl Fahrmanöver	N = 188	N = 179	N = 147
Quer	Max. Querschleunigung	0,84 m/s ² (0,39)	–	–
	Max. Querruck	1,92 m/s ³ (1,66)	–	–
Längs	Mittlere Geschwindigkeit	129,3 km/h (1,37)	102,2 km/h (2,56)	112,4 km/h (1,69)
	Max. Längsbeschleunigung	0,25 m/s ² (0,34)	– 0,95 m/s ² (0,05)	– 1,17 m/s ² (0,34)
	Max. Längsruck	0,89 m/s ³ (1,22)	– 3,42 m/s ³ (0,19)	– 4,14 m/s ³ (1,17)
	Min. Abstand zum Vorderfahrzeug	92,6 m (5,27)	44,8 m (2,62)	–

Notiz: Mittelwert (Standardabweichung)

Alle fahrdynamischen Werte weisen über die automatisierten Fahrmanöver eine sehr geringe Streuung auf. Hier werden die kontrollierbare Simulationsumgebung und das reproduzierbare Funktionsverhalten des Fahrsimulators sichtbar. Auffällig sind jedoch die Dynamikwerte des Längsrucks, insbesondere bei den Manövern *Folgefahrt* und *reduzierte Geschwindigkeit*. Der hohe Ruck kann durch die Trägheit des Bewegungssystems des Simulators (siehe Hexapod in Abschnitt 2.4.1) sowie dessen Skalierung begründet werden. So müssen Bewegungsamplituden für einen Versuch gesamthaft festgelegt werden und können somit bei kleinen Bewegungen zu einem spürbar höheren Ruck führen (Bellem et al., 2017).

Zuletzt sind die im Vergleich zur Realverkehrsstudie sowie der Definition und Instruktion der Fahrmanöver geringen Abstände zum Vorderfahrzeug sichtbar. Dieser Effekt wurde aufgrund der beeinträchtigten Abstandswahrnehmung im Simulator (siehe Abschnitt 4.4.2.2) im Vorfeld des Versuches durch eine Experteneinschätzung bewusst gewählt, um das subjektive Abstandsempfinden während den automatisierten Fahrmanövern an die des Realversuches anzupassen.

Validität

Analog zu den vorherigen Studien wird die Validität der Versuchsumgebung anhand von Fahrstreifenwechseln exemplarisch dargestellt. Die gemessenen Dynamikwerte eines realen automatisierten Versuchsfahrzeugs werden den Wizard-of-Oz- und Simulator-Messungen gegenübergestellt. Tabelle 4-24 zeigt die deskriptiven Kenngrößen der Messung sowie die anhand eines Kruskal-Wallis-Test errechneten signifikanten Unterschiede zwischen Simulator und realem Versuchsfahrzeug.

Tabelle 4-24. Vergleich der gemessenen Dynamikwerte von Fahrstreifenwechseln und Kruskal-Wallis-Test zwischen Simulator und realem Versuchsträger

	<i>real</i>	<i>Simulator</i>	<i>Mann-Whitney-U-Test</i>			<i>Effektstärke</i>
Anzahl	N = 7	N = 188				
Max. Querbeschleunigung	1,02 m/s ² (0,21)	0,84 m/s ² (0,39)	U = 564	Z = 0,71	p = 0,127	r = 0,112
Max. Querruck	2,08 m/s ³ (0,19)	1,92 m/s ³ (1,66)	U = 904	Z = 0,92	p = 0,047	r = 0,146
Mittlere Geschwindigkeit	120,9 km/h (10,9)	129,3 km/h (1,37)	U = 423	Z = -1,49	p = 0,146	r = 0,11
Max. Längsbeschleunigung	0,40 m/s ² (0,46)	0,25 m/s ² (0,34)	U = 862	Z = 1,73	p = 0,093	r = 0,12
Max. Längsruck	0,72 m/s ³ (0,80)	0,89 m/s ³ (1,22)	U = 693	Z = 0,68	p = 0,637	r = 0,03
Min. Abstand zum Vorderfahrzeug	144,9 m (72,9)	92,6 m (5,27)	U = 693	Z = 2,16	p = 0,035	r = 0,16

Notiz: Mittelwert (Standardabweichung)

Der dynamische Fahrsimulator weist gegenüber einem realen automatisierten Versuchsfahrzeug in seiner Dynamik eine signifikant kleinere Längsbeschleunigung sowie einen signifikant kleineren Querruck auf. Aufgrund der simulierten Umgebung und Fremdverkehrs sind Fahrstreifenwechsel stets geplant und können somit auch mit reproduzierbar geringeren Beschleunigungen durchgeführt werden. Dies führt zu einer niedrigeren Dynamik. Gleichzeitig fällt die hohe Streuung in den Ruckwerten auf. Hierzu wird auf die eben diskutierte Trägheit und Skalierung des Simulatoreaufbaus verwiesen. Des Weiteren ist bei Fahrstreifenwechseln der minimale Abstand zum Vorderfahrzeug im Simulator signifikant kleiner als in der Realität. Diese bewusste Anpassung der Abstände wurde bereits diskutiert.

Zuletzt wird auf die kleine Stichprobe der Fahrmanöver mit einem realen automatisierten Versuchsfahrzeug hingewiesen.

4.4.4.2 Wahrnehmung und Bewertung der automatisierten Fahrmanöver

Im Folgenden werden die Bewertung in Abhängigkeit der automatisierten Fahrmanöver und der fahr-fremden Tätigkeiten aufgezeigt. Hierfür wird zunächst die Wahrnehmung der definierten Fahrmanöver überprüft.

Wahrnehmung der automatisierten Fahrmanöver

Abbildung 4-29 und Abbildung 4-30 zeigen den Anteil der wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver abhängig von der Expertise für die Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) und Rückfahrt (Quiz spielen). Sowohl die Instruktion der fahrfremden Tätigkeit ($F(1,568) = 14,15, p < 0,001, d_{Cohen} = 1,49$) als auch die automatisierten Fahrmanöver ($F(5,568) = 4,61, p < 0,001, d_{Cohen} = 0,85$) haben einen signifikanten Einfluss auf ihre Wahrnehmung, jedoch nicht die Expertise der Nutzer ($F(1,568) = 2,83, p = 0,11$).

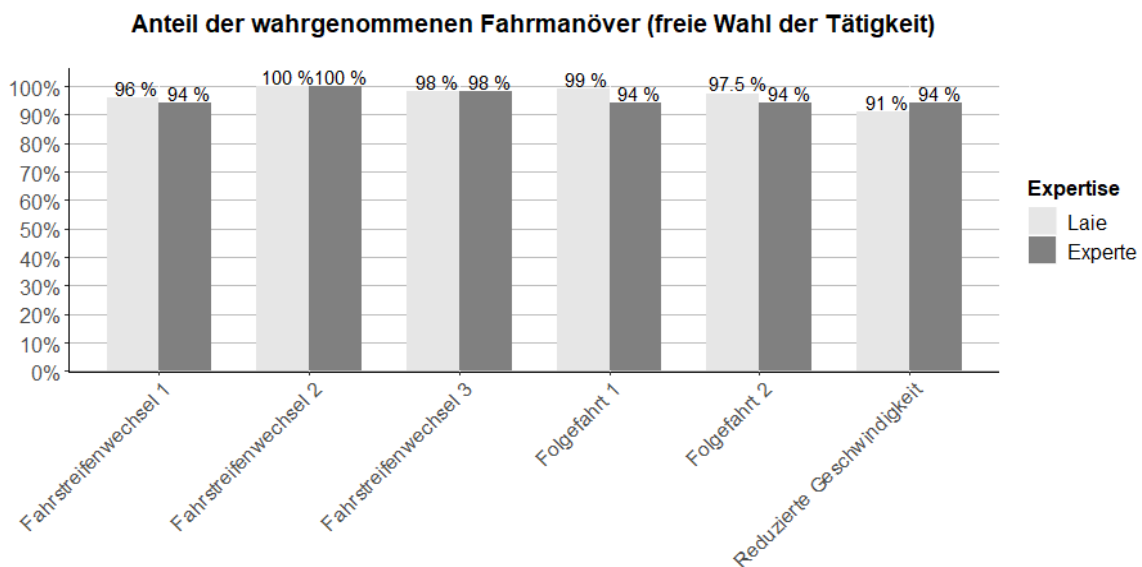


Abbildung 4-29: Anteil der wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise

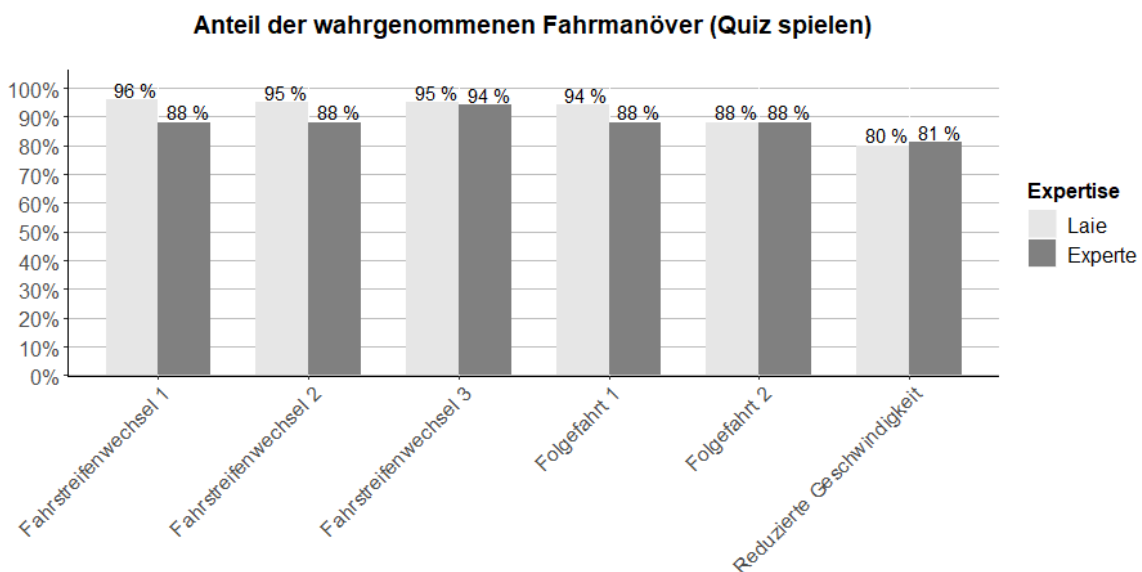


Abbildung 4-30: Anteil der wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise

Insgesamt werden die hohen Werte für die Wahrnehmung automatisierter Fahrmanöver im Fahrsimulator deutlich. Die instruierte fahrfremde Tätigkeit führt zu einer Senkung der Anzahl wahrgenommener Fahrmanöver. Der Einfluss der Expertise auf die Wahrnehmung scheint nicht systematisch zu sein und tritt nur vereinzelt auf. Jedoch scheinen Laien im Simulator tendenziell aufmerksamer zu sein als Experten. Es konnten im Simulator keine Interaktionseffekte hinsichtlich der Wahrnehmung gefunden werden.

Für die Auswertung der Bewertungen werden die nicht wahrgenommenen Manöver ausgeschlossen.

Mittelwert und Varianz der Bewertungen

Im Folgenden werden die subjektiven Bewertungen des Nutzererlebnisses in Abhängigkeit der Expertise und fahrfremden Tätigkeit für die Hinfahrt (siehe Abbildung 4-31) und Rückfahrt (siehe Abbildung 4-32) dargestellt. Die Bewertung des Nutzererlebnisses ist abhängig von der fahrfremden Tätigkeit ($F(1,568) = 10,63, p < 0,01, d_{Cohen} = 1,29$) und dem zu bewertenden Fahrmanöver ($F(5,568) = 72,80, p < 0,001, d_{Cohen} = 3,38$), jedoch hat die Nutzerexpertise keinen signifikanten Einfluss ($F(1,568) = 1,28, p = 0,259$).

Wie in der vorangegangenen Studie wird der Levene-Test für Gleichheit der Varianzen angewendet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Varianzen der Bewertungen zwischen Laien und Experten sich über alle automatisierten Fahrmanöver für die Hinfahrt nur tendenziell ($F(1,286) = 3,389, p = 0,067$) und für die Rückfahrt nicht signifikant voneinander unterscheiden ($F(1,286) = 1,998, p = 0,159$).

Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Unterschiede in der Bewertung des Nutzererlebnisses zwischen Laien und Experten. Auch hinsichtlich der Varianz in der Erlebnisbewertung scheint es keinen systematischen Einfluss der Expertise zu geben. Zur detaillierteren Interpretation werden im Folgenden die Bewertungen der einzelnen Manöver genauer betrachtet.

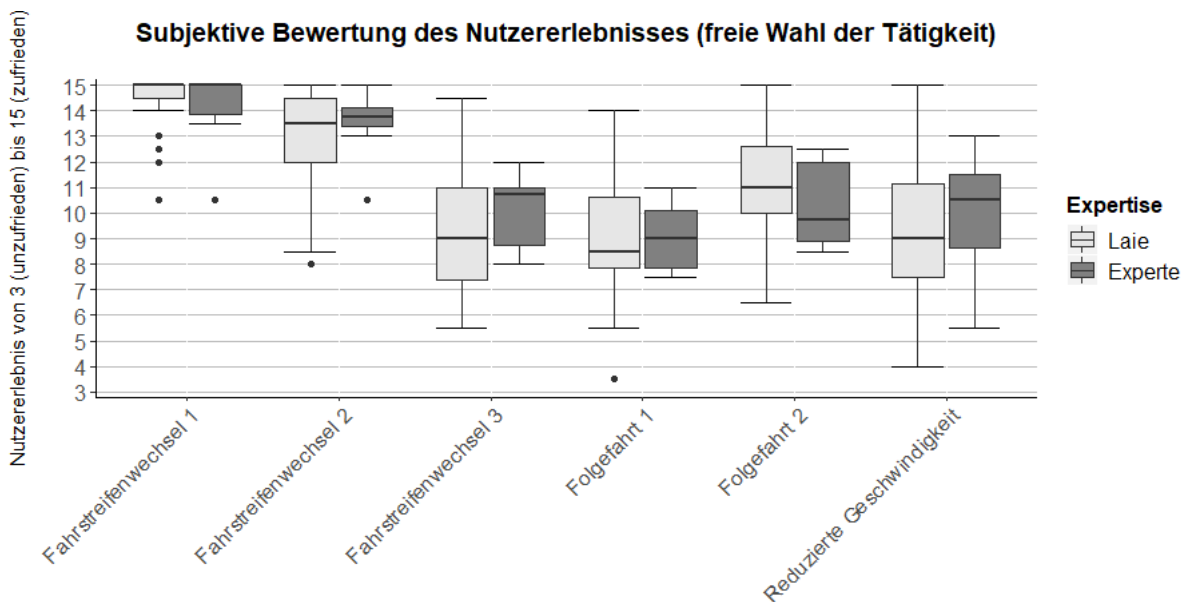


Abbildung 4-31: Subjektive Bewertung des Nutzererlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise

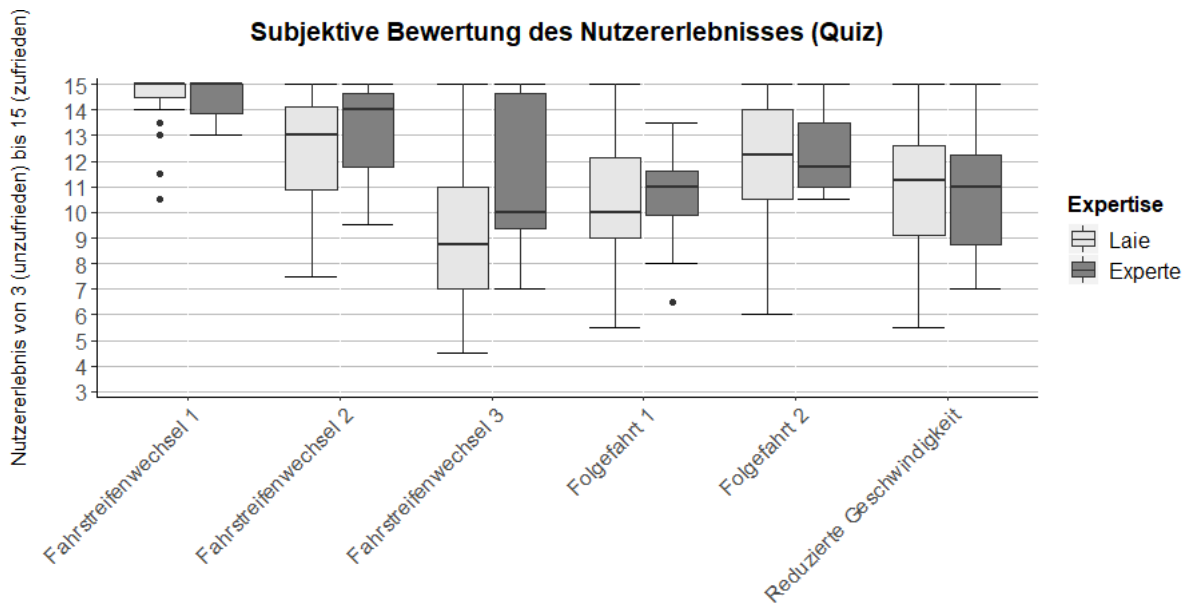


Abbildung 4-32: Subjektive Bewertung des Nutzererlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise

Mittelwert und Varianz der Bewertungen je Fahrmanöver

Analog zur Studie 2 werden die Bewertungen im Fahrsimulator zwischen Laien und Experten je Fahrmanöver gegenübergestellt, um eine detaillierte und differenzierte Interpretation zu ermöglichen. Tabelle 4-25 listet die deskriptiven Werte der Bewertungen der einzelnen Fahrmanöver auf und zeigt auf, ob sich die Mittelwerte der Bewertungen (Mann-Whitney-U-Test) und ihre Varianzen (Levene-Test) zwischen Laien und Experten signifikant voneinander unterscheiden.

Tabelle 4-25. Auswertung der Bewertung der automatisierten Fahrmanöver in Abhängigkeit der fahrfremden Tätigkeit und der Nutzerexpertise

Fahrmanöver	Fahrfremde Tätigkeit	Bewertung: MW (SA)		Mann-Whitney-U-Test	Levene-Test
		Laien	Experten		
Fahrstreifenwechsel 1	Freie Wahl	14,5 (0,99)	14,1 (1,58)	p = 0,556	p = 0,167
	Fahrstreifenwechsel ohne Nachfolgeverkehr	Quiz spielen	14,4 (1,30)	14,4 (0,82)	p = 0,638
Fahrstreifenwechsel 2	Freie Wahl	13,1 (1,86)	13,5 (1,36)	p = 0,696	p = 0,146
	Fahrstreifenwechsel Einscheren in Kolonne	Quiz spielen	12,4 (2,18)	13,1 (2,05)	p = 0,737
Fahrstreifenwechsel 3	Freie Wahl	9,2 (2,13)	10,0 (1,52)	p = 0,273	p = 0,245
	Fahrstreifenwechsel mit Folgefahrzeug	Quiz spielen	9,4 (2,84)	11,3 (3,13)	p = 0,126
Folgefahrt 1	Freie Wahl	9,0 (2,18)	9,1 (1,37)	p = 0,835	p = 0,300

VERSUCHSREIHEN UND ERGEBNISSE

Folgefahrt ohne Nachfolgeverkehr	Quiz spielen	10,4 (2,36)	10,5 (2,24)	p = 0,739	p = 0,580
Folgefahrt 2	Freie Wahl	11,1 (2,75)	9,8 (0,63)	p = 0,311	p = 0,749
Folgefahrt mit Kolonne	Quiz spielen	12,1 (2,37)	12,3 (1,63)	p = 0,978	p = 0,373
Reduzierte Geschwindigkeit	Freie Wahl	9,4 (2,76)	9,8 (2,18)	p = 0,589	p = 0,528
	Quiz spielen	10,9 (2,87)	10,8 (2,66)	p = 0,901	p = 0,561

Wie bereits erwähnt zeigen die Ergebnisse keine signifikanten Unterschiede in der Bewertung des Nutzererlebnisses zwischen Laien und Experten. Das einzig auffällige Fahrmanöver scheint der *Fahrstreifenwechsel 3* zu sein, bei dem – unabhängig von der instruierten Tätigkeit – Experten analog zur Studie 2 leicht positiver bewerten. Zum Abgleich mit den vorangegangenen Ergebnissen wird hierfür im Folgenden eine detaillierte Betrachtung mit Hilfe der Bewertungsskala gemacht.

Hinsichtlich der Varianz in der Erlebnisbewertung scheint es keinen systematischen Einfluss der Expertise zu geben. Die deskriptive Statistik deutet darauf hin, dass Experten – im Vergleich zu Laien – stabiler in ihrer Bewertung zu sein scheinen und eine tendenziell kleinere Streuung erzeugen. Jedoch entsteht hier aufgrund der kleinen Stichprobe der Experten kein signifikanter Unterschied.

Bewertung weiterer Konstrukte des Erlebnisses

Die subjektive Bewertung des Fahrmanövers *Fahrstreifenwechsel 3* wird genauer betrachtet, indem die Bewertung des Gefühls *Andere aufzuhalten* und *zügig voranzukommen* zwischen Laien und Experten für die Hin- und Rückfahrt verglichen wird. Wie in Abbildung 4-33 zu sehen hat die Expertise weder signifikanten Einfluss auf die Bewertung des Gefühls *Andere aufzuhalten* (Hinfahrt: $W = 126,5$, $p = 0,356$, $\eta^2 = 3,2$; Rückfahrt: $W = 109$, $p = 0,156$, $\eta^2 = 15,9$) noch auf das Gefühl *zügig voranzukommen* (Hinfahrt: $W = 195,5$, $p = 0,310$, $\eta^2 = 13,2$; Rückfahrt: $W = 194$, $p = 0,320$, $\eta^2 = 10,4$).

Trotz der leichten Unterschiede in der deskriptiven Statistik zur Gesamtbewertung des Manövers *Fahrstreifenwechsel 3*, kann dieser Unterschied weder mit der Gesamtauswertung noch der Auswertung der einzelnen Konstrukte des Erlebnisses belegt werden.

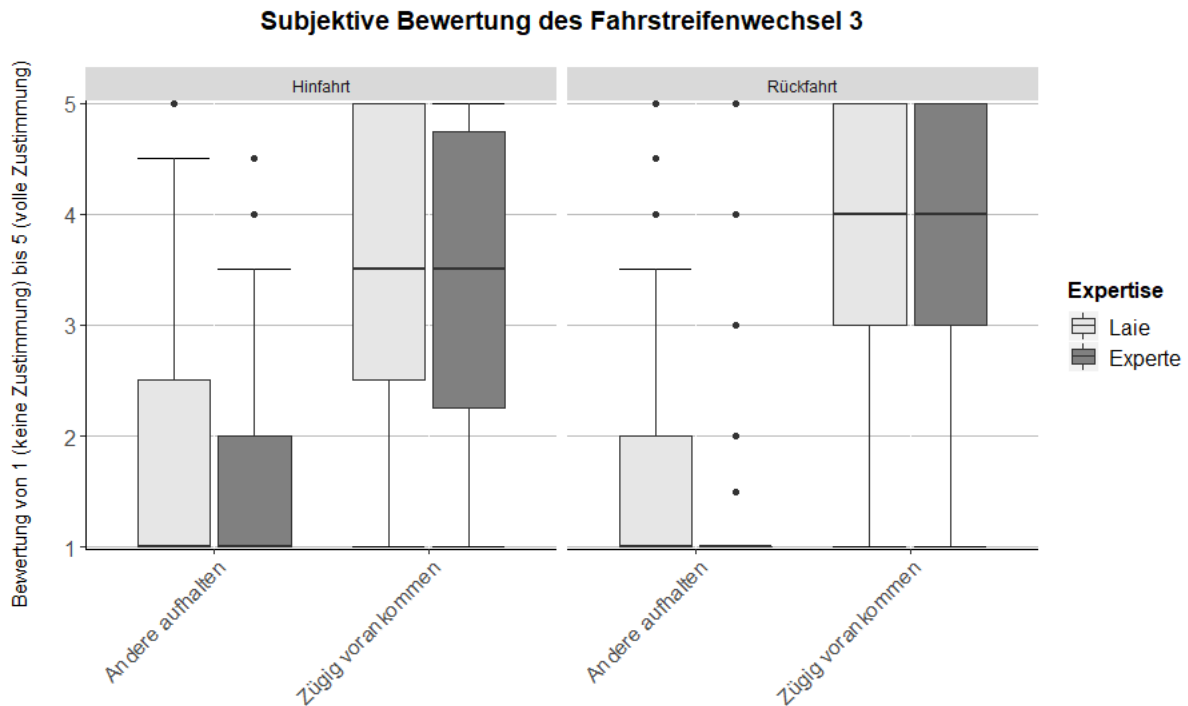


Abbildung 4-33: Subjektive Bewertung des automatisierten Fahrmanövers Fahrstreifenwechsel 3 (mit Folgefahrzeug) während der Hin- und Rückfahrt

4.4.4.3 Bewertung der gesamten Fahrt

Im Folgenden werden die Bewertungen bezogen auf die gesamte automatisierte Fahrt zwischen Laien und Experten verglichen. Der Abschlussfragebogen aus Studie 2 wurde mit der Abfrage zur Simulatorkrankheit ergänzt und ist im Anhang C zu finden.

Gemäß den vorherigen Studien werden für Laien und Experten insgesamt hohe Akzeptanz-, Vertrauens- und Komfortbewertungen gemessen. Abbildung 4-34 zeigt die auf einer siebenstufigen Likert-Skala bewerteten Konstrukte Gesamtzufriedenheit, Sicherheitsempfinden, Komfortempfinden, Vertrauen und Entspannung. Die Expertise des Nutzers hat einen signifikanten Einfluss auf die Summe der Gesamtbewertungen der automatisierten Fahrt ($W = 295$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 23,2$).

Betrachtet man die Konstrukte und Items der Abschlussbewertung, so bewerten Experten in einzelnen Aspekten tendenziell niedriger als Laien (siehe Tabelle 4-26). So wird die Gesamtzufriedenheit durch Experten tendenziell niedriger bewertet und das Komfortempfinden signifikant niedriger. Insgesamt werden jedoch sehr hohe Werte erzielt.

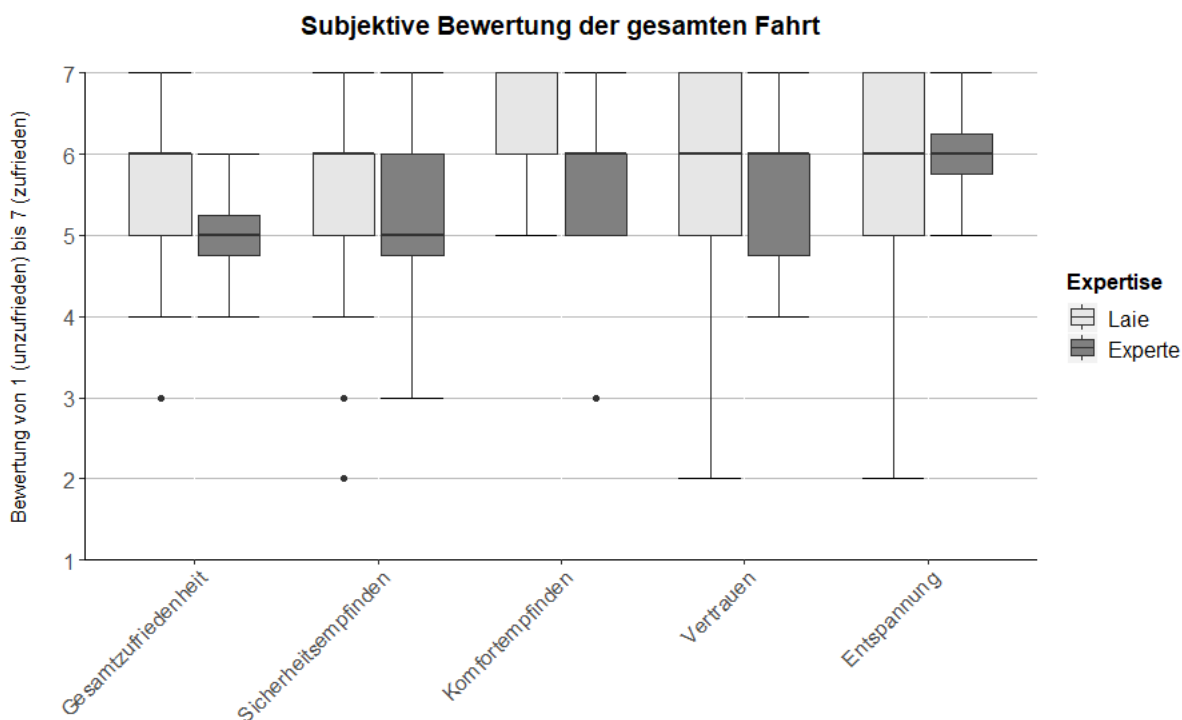


Abbildung 4-34: Subjektive Abschlussbewertungen der gesamten Fahrt in Abhängigkeit der Nutzerexpertise

Tabelle 4-26. Vergleich der subjektiven Abschlussbewertungen der gesamten Fahrt

	<i>Laien</i>	<i>Experten</i>	<i>Mann-Whitney-U-Test</i>	<i>Levene-Test</i>
Gesamtzufriedenheit	5,6 (1,08)	5,0 (0,76)	p = 0,063	p = 0,163
Sicherheitsempfinden	5,7 (1,08)	5,1 (1,25)	p = 0,192	p = 0,716
Komfortempfinden	6,5 (0,72)	5,5 (1,20)	p < 0,05	p = 0,136
Vertrauen	5,8 (1,18)	5,5 (1,07)	p = 0,403	p = 0,899
Entspannung	5,9 (1,31)	6,0 (0,76)	p = 0,737	p = 0,058

Angelehnt an das Vorgehen in Studie 1 und 2 werden die Versuchspersonen im Anschluss an die Versuchsfahrt qualitativ nach prägenden Erlebnissen befragt. Es sollen Aspekte genannt werden, die sich besonders positiv (siehe Abbildung 4-35) bzw. besonders negativ (siehe Abbildung 4-36) auf das Nutzererlebnis ausgewirkt haben.

Die Ergebnisse zeigen – analog zu Studie 2 – den besonderen Stellenwert der empfundenen Entspannung für Laien im Vergleich zu den Experten. Die Diskrepanz in der Gewichtung der Entspannung deckt sich mit den Erkenntnissen der Abschlussbewertung sowie den Erkenntnissen aus den vorherigen Studien. Sowohl Experten als auch Laien empfinden den automatisierten Fahrstil als zu defensiv, jedoch nennen deutlich mehr Experten das Manöver *Folgefahrt 1* (kein Fahrstreifenwechsel, obwohl Nebenspur frei) als

prägend negatives Erlebnis. Innerhalb der negativen Diskomfort-Nennungen scheint es eine Tendenz der Expertise zu geben. So nennen Experten tendenziell mehr negative Gründe bezüglich ihres Nutzererlebnisses.

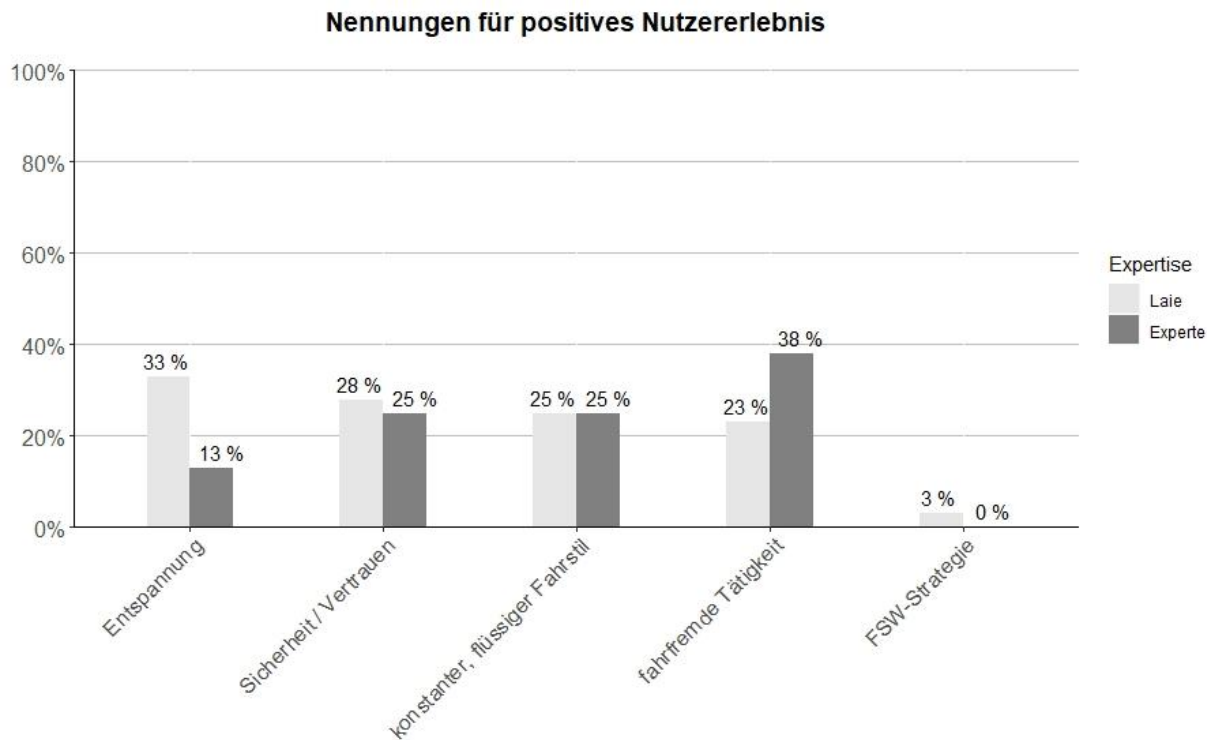


Abbildung 4-35: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für positives Nutzererlebnis in Abhängigkeit der Nutzerexpertise

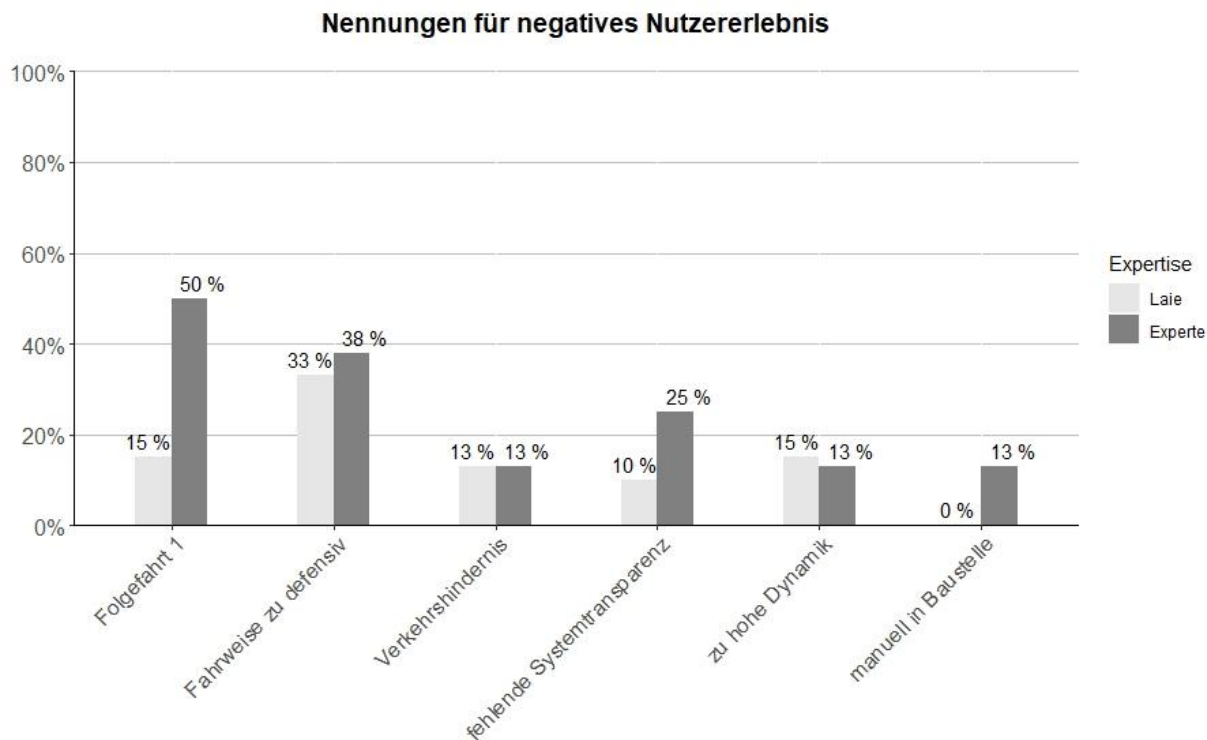


Abbildung 4-36: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für negatives Nutzererlebnis in Abhängigkeit der Nutzerexpertise

4.4.5 Zusammenfassung der Zwischenergebnisse

Ziel dieser Studie war es zum einen den Einfluss der Expertise auf die Wahrnehmung und Bewertung automatisierter Fahrmanöver im Fahrsimulator zu untersuchen. Zum anderen soll ermittelt werden, ob sich die Bewertung des Nutzererlebnisses zwischen Realverkehr und Fahrsimulation unterscheidet und ob die Diskrepanz zwischen Experten und Laien in beiden Versuchsumgebungen gleich bleibt.

Für den ersten Teil der Fragestellung werden die zuvor vorgestellten Zwischenergebnisse nun zusammengefasst. Der Vergleich der beiden Versuchsumgebungen und die entsprechende statistische Auswertung wird im Anschluss in Kapitel 4.5 diskutiert. In diesem Zuge wird dort auf die aufgestellten Hypothesen zur Studie 3 eingegangen.

Bewertung im Simulator abhängig von der Expertise?

Die Expertise der Nutzer wirkt sich in dieser Simulatorstudie nicht signifikant auf die Bewertung des Nutzererlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern aus. Vereinzelt Manöver deuten auf leichte Unterschiede hin, jedoch konnte hier keine Systematik entdeckt werden. Des Weiteren deutet die deskriptive Statistik darauf hin, dass Experten im Simulator – im Vergleich zu Laien – stabiler in ihrer Bewertung zu sein scheinen und eine tendenziell kleinere Streuung erzeugen. Jedoch entsteht hier aufgrund der kleinen Stichprobe der Experten kein signifikanter Unterschied.

Bezüglich der Abschlussbewertung der automatisierten Fahrt gibt es einen signifikanten Einfluss der Expertise. Experten bewerten besonders das Kriterium Komfort und Gesamtzufriedenheit niedriger als Laien. Dieser Effekt fällt jedoch schwächer aus als in der Realverkehrsstudie 2 (siehe Kapitel 4.5). Bezüglich der Gründe zur Komfort- und Diskomfort-Empfindung der Probanden unterscheiden sich Experten und Laien – analog zur Studie 2 – nur jeweils im meist genannten Einflussfaktor. Wie bereits in Studie 2 festgestellt, empfinden Laien die erlebte Entspannung im Vergleich zu Experten als positiver und relevanter. Experten hingegen nennen mehr negative Diskomfort-Gründe und erleben die Folgefahrt 1 im Vergleich zu Laien als störender.

Zuletzt konnte kein signifikanter Einfluss der Expertise auf die Wahrnehmung der Fahrmanöver entdeckt werden, wenn gleich es Tendenzen gibt, dass laienhafte Probanden gesamthaft aufmerksamer im Simulator sind als Experten.

Weitere Erkenntnisse aus dem Simulator

Einen signifikanten Einfluss haben die Instruktion der fahrfremden Tätigkeit sowie die Fahrmanöver selber. So führen – analog zur Studie 2 – die Instruktion des Quiz und die resultierende Abwendung zu einer positiveren Bewertung der automatisierten Fahrmanöver. Zugleich liegen die Bewertungen des Nutzererlebnisses in dieser Studie durchschnittlich auf einem mittleren Niveau. Dieser Unterschied zur Realverkehrsstudie wird im Anschluss diskutiert.

Limitationen

Die Auswertung der Validität und Fahrdynamik des Simulators haben Unterschiede zu einem realen automatisierten Versuchsfahrzeug gezeigt. So weist der dynamische Fahr Simulator über alle Fahrmanöver hohe Werte im Längs- und Querruck auf. Zwar sind das Verkehrsgeschehen und die Manöver reproduzierbar, aber der Aufbau des Bewegungssystems des Simulators sowie seine Skalierung führen zu einer Trägheit und einem spürbar hohen Ruck in beide Bewegungsrichtungen. So kann nicht ausgeschlossen werden, dass automatisierte Fahrmanöver trotz Abwendung des Probanden im Simulator durch den spürbaren Ruck häufiger wahrgenommen werden.

Ebenso weicht der Abstand zum Vorderfahrzeug in den definierten Fahrmanövern zur eigentlichen Definition aus dem Realverkehr ab. Hier sollte durch eine Experteneinschätzung der gleiche subjektive Eindruck im Vergleich zum Realverkehr erzielt werden. Es wird von einer effektiven Manipulation ausgegangen, da die Ergebnisauswertung keinen signifikanten Einfluss des Abstandes ergibt und ein unangemessener Abstand nicht in den Begründungen zum Diskomfort genannt wird.

Ferner werden gesamthaft – trotz instruierter fahrfremder Tätigkeit und Abwendung - hohe Wahrnehmungswerte im Simulator erzielt. Hierfür kommen unterschiedliche Gründe in Frage. Zum einen kann der eben diskutierte hohe Ruck zu mehr Aufmerksamkeit führen. Des Weiteren kann der Simulatore Aufbau zu einer bewussten Untersuchungssituation der Probanden führen. So kommuniziert die Versuchsleitung mit den Probanden über eine Gegensprechanlage und kann die Probanden daran hindern, sich in einer natürlichen Verkehrsumgebung zu fühlen.

Analog zur Studie 2 handelt es sich bei der Expertenstichprobe um Mitarbeiter des Unternehmens. Sie besetzen alle in ihrem Beruf eine kritische und bewertende Rolle. Dies kann in der Bewertung der automatisierten Fahrt zu einem Fokus auf Fehler und negative Aspekte der Fahrt führen. Wie in der vorangegangenen Studie bereits festgestellt wurde, wird beispielsweise der Einflussfaktor Entspannung häufiger von Laien hervorgehoben. Dies kann an der Arbeitssituation und der beruflichen Rolle der Experten liegen.

Zuletzt wird nochmals auf die Limitation durch den Erstkontakt der Laien verwiesen. Die Wahrnehmung der Qualitäten einer automatisierten Fahrt kann sich über die Zeit der Nutzung verändern. Folglich gewichten Nutzer mit hoher Nutzungserfahrung die Merkmale des Systems anders. So kann der zeitliche Vorsprung der Experten zu Unterschieden in der Bewertung führen.

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Wizard-of-Oz-Studie und der Simulatorstudie gegenübergestellt. Hierdurch sollen Unterschiede und Einflüsse der Versuchsumgebung auf den Vergleich zwischen Laien und Experten festgehalten werden. Ferner werden die in Abschnitt 4.4.1 vorgestellten Hypothesen diskutiert.

4.5 Vergleich Wizard-of-Oz und Fahr Simulator

In Folgenden werden die Unterschiede aus den beiden Studien im Wizard-of-Oz und dem Fahr Simulator vorgestellt. Hierzu werden die Fahrdynamik, die Bewertung einzelner automatisierter Fahrmanöver und der gesamten automatisierten Fahrt verglichen sowie der Einfluss der Expertise innerhalb der beiden Versuchsumgebungen untersucht. Eine Beschreibung des Vergleichs und der Ergebnisse ist auch in Omozik et al. (Im Druck) zu finden.

4.5.1 Fahrdynamik

Zu Beginn des Vergleichs beider Versuchsumgebung zeigt Tabelle 4-27 die gemessenen Kriterien zur Fahrdynamik beim Fahrstreifenwechsel. Wie bereits diskutiert hat der dynamische Fahr Simulator technische Einschränkungen, die eine Anpassung der definierten Werte erfordern oder zu einer veränderten Fahrdynamik führen. Hierzu zählt zum einen das Bewegungssystem des Simulators, das über einen Hexapod umgesetzt wurde und die Skalierung des Bewegungsraums für den speziellen Versuch. Diese Skalierung führt zusammen mit der Trägheit des Systems zu einem spürbaren Ruck bei niedrigen Beschleunigungswerten. Zum anderen ist die Projektion und fehlende Tiefenwahrnehmung Grund dafür, dass die Abstände zum Vorderfahrzeug in den definierten Fahrmanövern reduziert werden müssen, um einen vergleichbaren subjektiven Eindruck zu erzielen. Diese Einschränkungen resultieren in einer weitestgehend signifikant unterschiedlichen Fahrdynamik zwischen den beiden Versuchsumgebungen.

Tabelle 4-27. Vergleich der gemessenen Dynamikwerte von Fahrstreifenwechseln und Kruskal-Wallis-Test zwischen Wizard-of-Oz und Fahr Simulator

	Wizard	Simulator	Kruskal-Wallis-Test			Effektstärke
Anzahl	N = 194	N = 188				
Max. Querbeschleunigung **	0,50 m/s ² (0,16)	0,84 m/s ² (0,39)	U = 1988	Z = -4,01	p = 0,003	r = 0,21
Max. Querruck ***	1,53 m/s ³ (0,38)	1,92 m/s ³ (1,66)	U = 4203	Z = 5,18	p < 0,001	r = 0,27
Mittlere Geschwindigkeit ***	125,0 km/h (2,96)	129,3 km/h (1,37)	U = 219	Z = -11,34	p < 0,001	r = 0,58
Max. Längsbeschleunigung ***	0,32 m/s ² (0,13)	0,25 m/s ² (0,34)	U = 4546	Z = 6,61	p < 0,001	r = 0,34
Max. Längsruck	0,92 m/s ³ (0,47)	0,89 m/s ³ (1,22)	U = 492	Z = 1,31	p = 0,451	r = 0,14
Min. Abstand zum Vorderfahrzeug	129,3 m (28,9)	92,6 m (5,27)	U = 2612	Z = 5,28	p < 0,001	r = 0,27

Wie zu sehen, ergeben sich signifikante Unterschiede für die meisten Dynamikkriterien. Die Differenz in den Messungen der maximalen Beschleunigung und des Rucks in beide Bewegungsrichtungen fallen je-

doch gering aus und sind nach Müller, T. A. (2015) für ungeübte Fahrer unterhalb der Wahrnehmungsschwelle. Nichtsdestotrotz werden die Dynamikunterschiede im weiteren Verlauf des Vergleichs berücksichtigt.

4.5.2 Wahrnehmung und Erlebnissbewertung der automatisierten Fahrmanöver

Im Rahmen der Erlebnissbewertung wird zunächst die Wahrnehmung der automatisierten Fahrmanöver abhängig von der Expertise und der Versuchsumgebung ausgewertet. Abbildung 4-37 und Abbildung 4-38 zeigen den Anteil der durch Laien wahrgenommenen Fahrmanöver für die Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) und Rückfahrt (Quiz spielen). Abbildung 4-39 und Abbildung 4-40 zeigen die Wahrnehmungswerte der Experten.

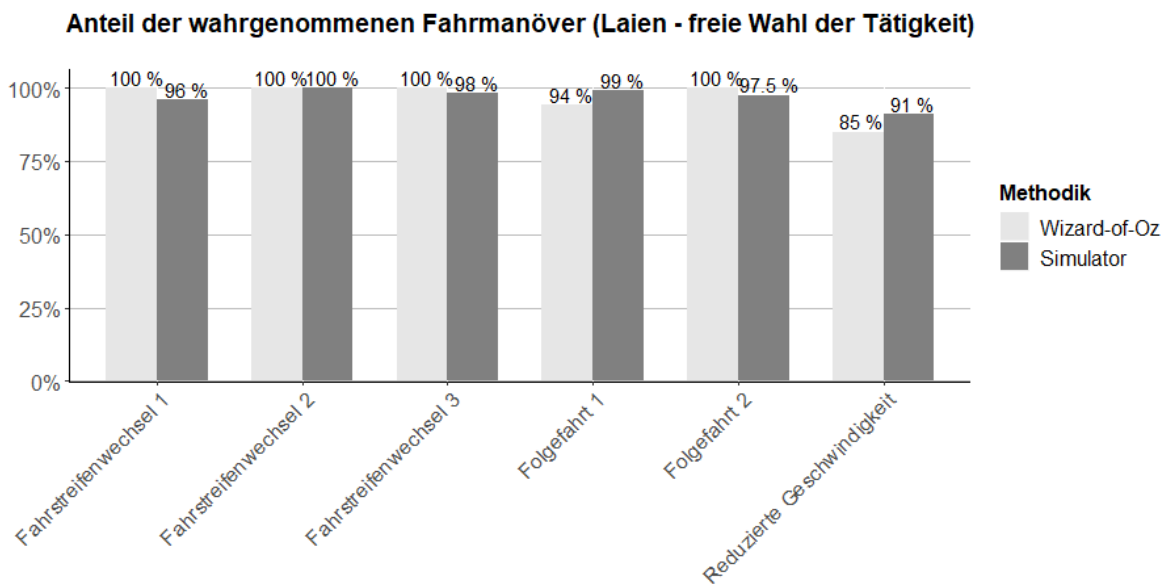


Abbildung 4-37: Anteil der durch Laien wahrgenommen automatisierten Fahrmanöver während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung

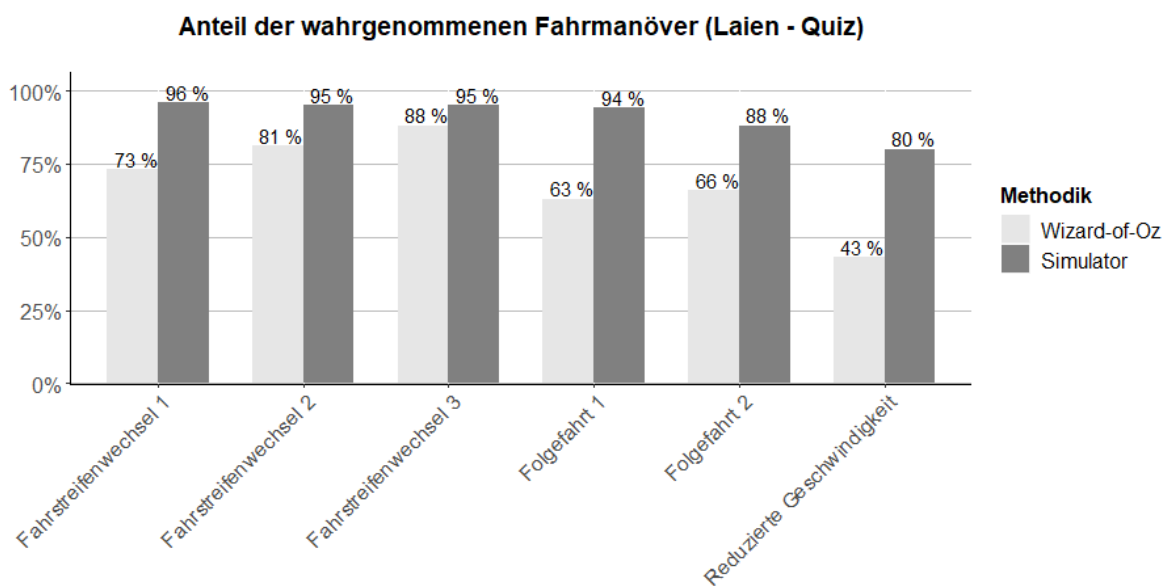


Abbildung 4-38: Anteil der durch Laien wahrgenommen automatisierten Fahrmanöver während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung

Anteil der wahrgenommenen Fahrmanöver (Experten - freie Wahl der Tätigkeit)

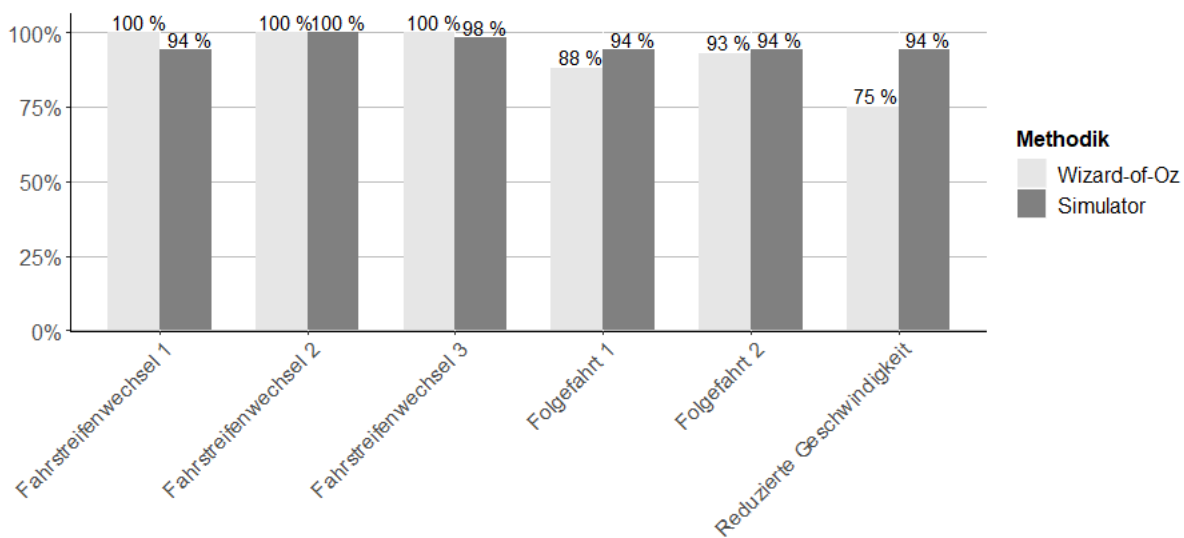


Abbildung 4-39: Anteil der durch Experten wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung

Anteil der wahrgenommenen Fahrmanöver (Experten - Quiz)

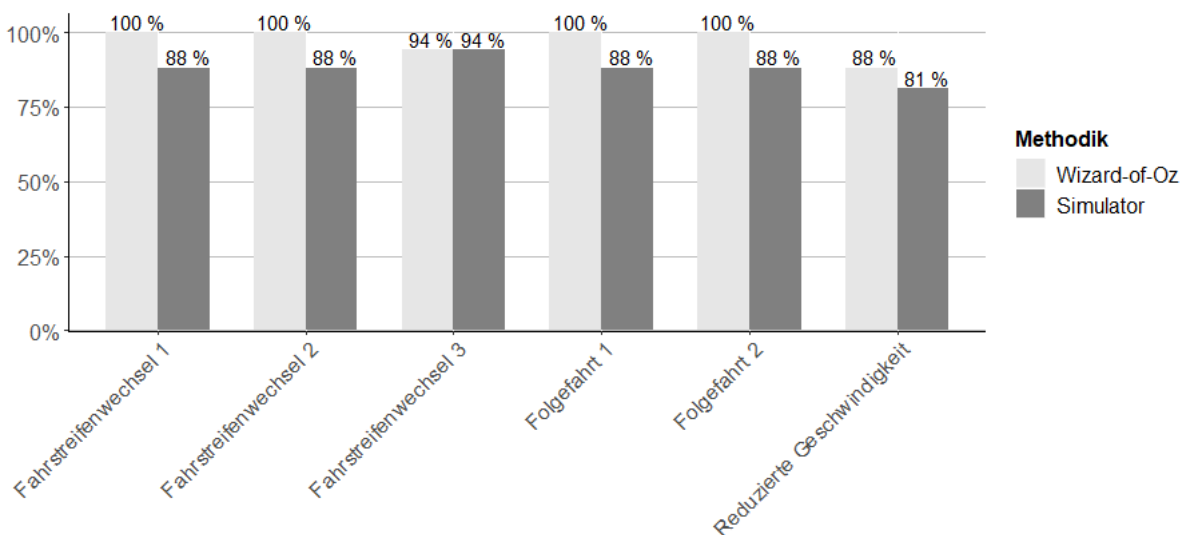


Abbildung 4-40: Anteil der durch Experten wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung

Analog zu den Ergebnissen aus Studie 2 und 3 haben die fahrfremde Tätigkeit ($F(1,983) = 17,864, p < 0,01, d = 0,33$) sowie das Fahrmanöver selbst ($F(5,983) = 5,704, p < 0,001, d = 0,65$) einen signifikanten Einfluss auf die Wahrnehmung der Manöver. Das bedeutet, dass in beiden Versuchsumgebungen und beiden Expertise-Gruppen die fahrfremde Tätigkeit zu geringerer Wahrnehmung führt und dass die Situation *reduzierte Geschwindigkeit* gesamthaft am seltensten bemerkt wurde.

Ebenso hat die Versuchsumgebung einen signifikanten Einfluss auf die Wahrnehmung ($F(1,983) = 3,087, p < 0,01, d = 0,136$). Das bedeutet, dass im Fahrsimulator insgesamt mehr automatisierte Fahrmanöver wahrgenommen wurden als im Wizard-of-Oz-Fahrzeug im Realverkehr.

Zuletzt hat die Expertise der Probanden keinen signifikanten Einfluss auf die Wahrnehmung ($F(1,983) = 4,289, p = 0,403, d = 0,158$). Das bedeutet, dass es über alle Rahmenbedingungen (Versuchsumgebung, fahrfremde Tätigkeit und Fahrmanöver) keinen systematischen Einfluss der Expertise gibt.

Im Folgenden werden die Erlebnisbewertungen der automatisierten Fahrmanöver zwischen den beiden Versuchsumgebungen verglichen.

Bewertung der einzelnen Fahrmanöver

Abbildung 4-41 und Abbildung 4-42 zeigen die durch Laien bewerteten automatisierte Fahrmanöver für die Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) und Rückfahrt (Quiz spielen). Abbildung 4-43 und Abbildung 4-44 zeigen die Erlebnisbewertungen der Experten. Hinsichtlich der Bewertung des Nutzererlebnisses durch Laien und Experten unterscheiden sich die beiden Versuchsumgebungen tendenziell ($F(1,51) = 4,00, p = 0,051, \eta^2 = 0,07$). So wird das Nutzererlebnis über alle Fahrmanöver, die Abwendung und Expertise hinweg im Simulator tendenziell negativer als im Wizard-of-Oz bewertet.

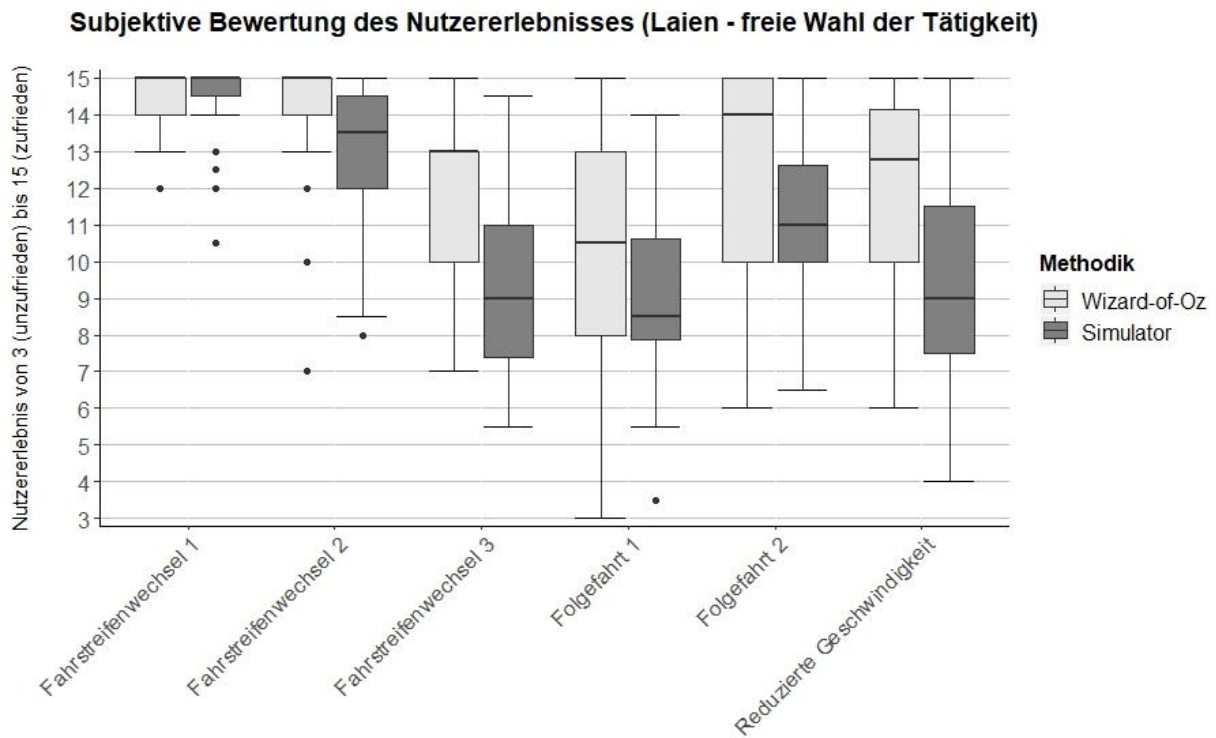


Abbildung 4-41: Subjektive Bewertung der automatisierte Fahrmanöver durch Laien während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung

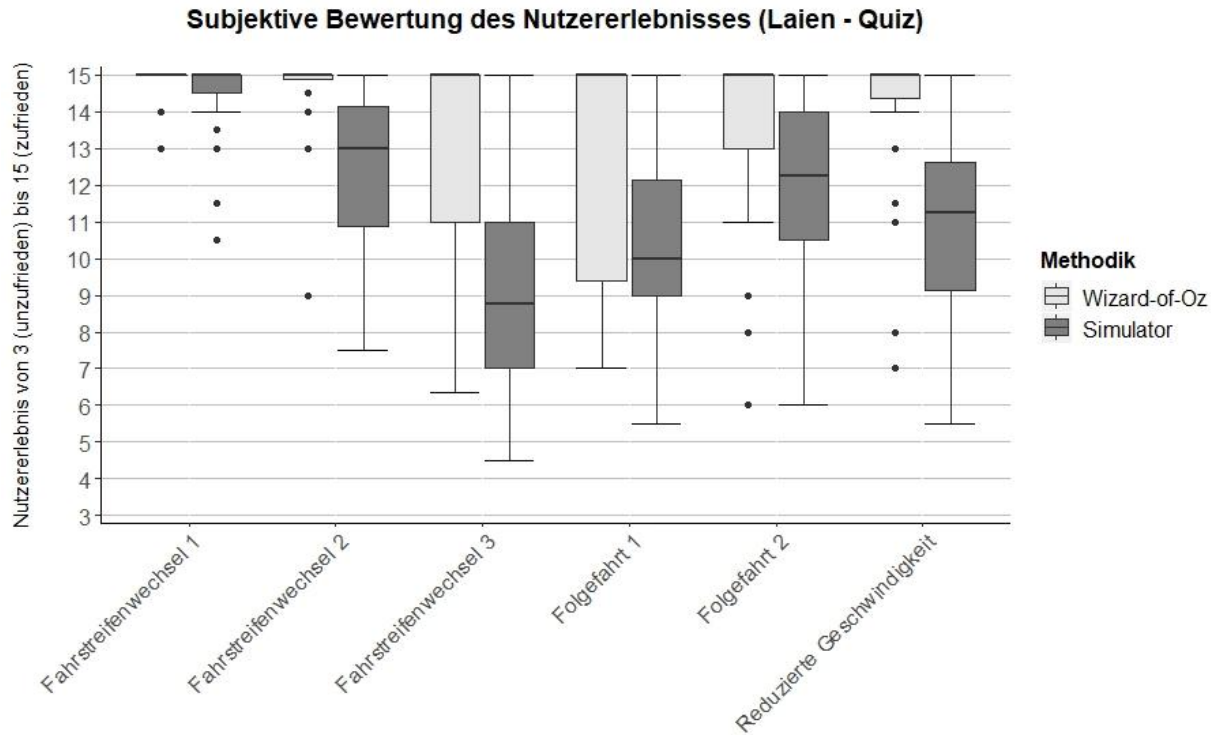


Abbildung 4-42: Subjektive Bewertung der automatisierte Fahrmanöver durch Laien während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung

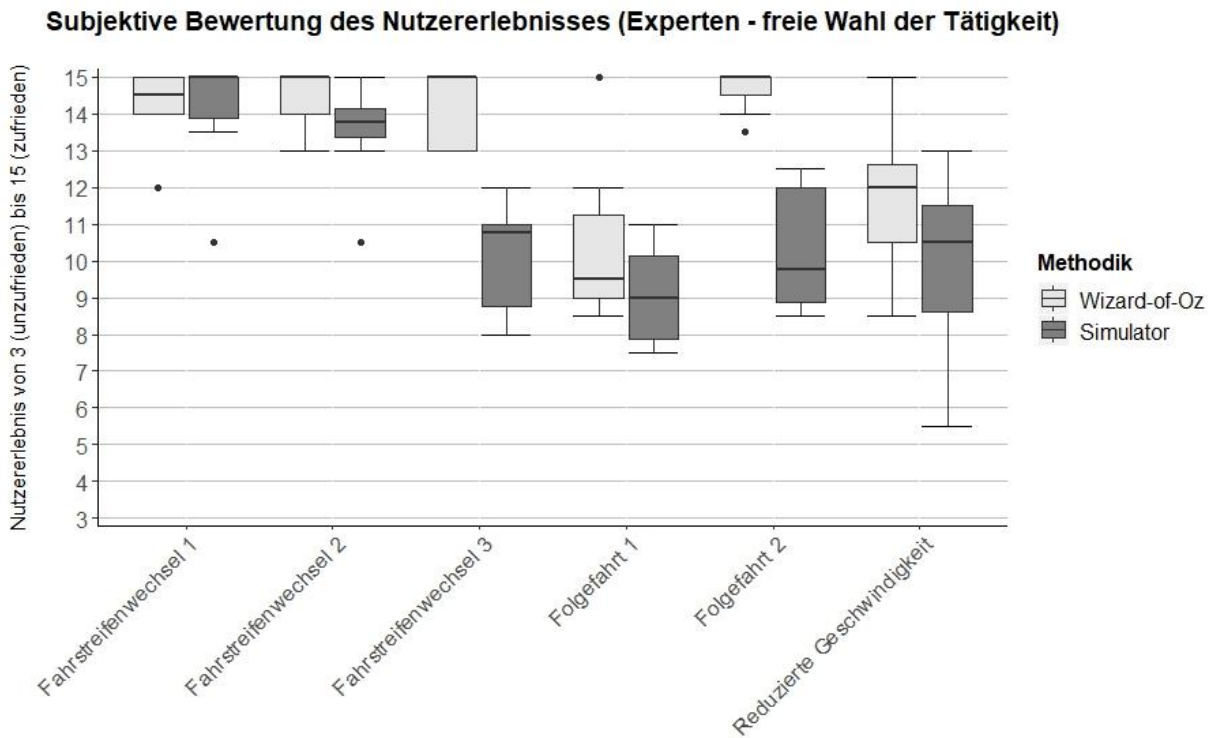


Abbildung 4-43: Subjektive Bewertung der automatisierte Fahrmanöver durch Experten während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung

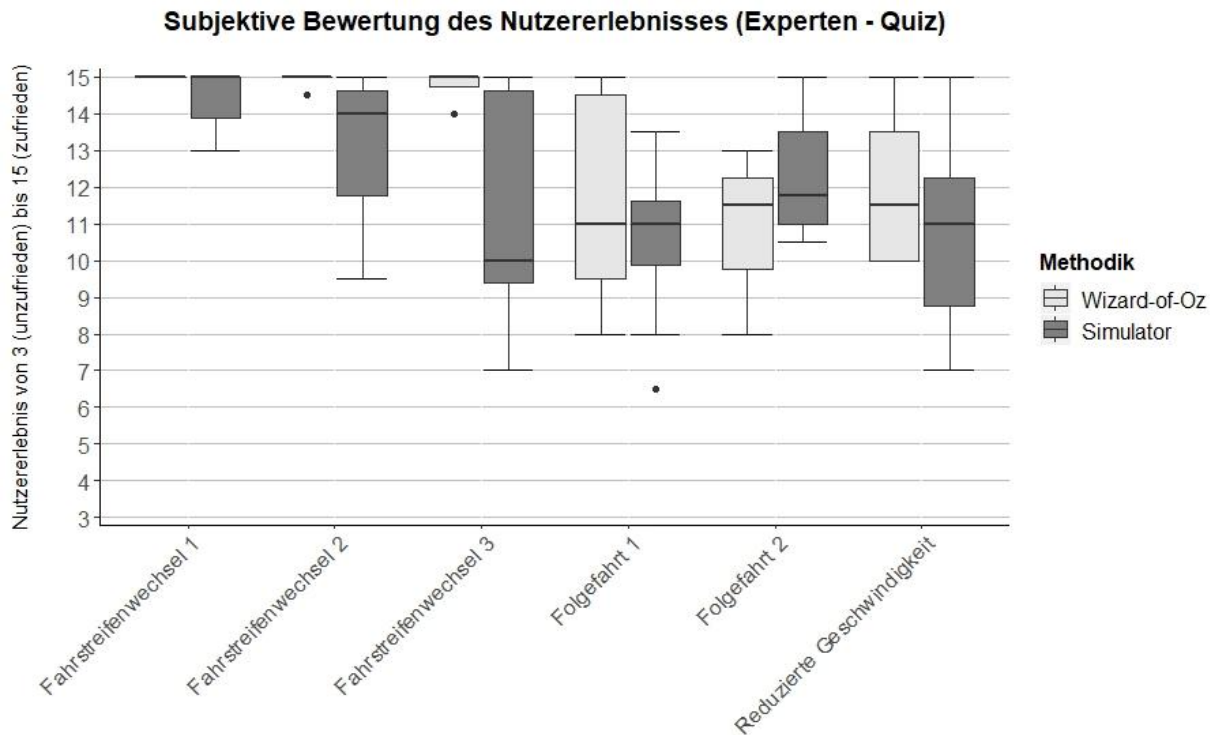


Abbildung 4-44: Subjektive Bewertung der automatisierte Fahrmanöver durch Experten während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung

Weiter haben sowohl die automatisierten Fahrmanöver einen signifikanten Haupteffekt auf ihre Erlebnisbewertung ($F(5,47) = 9,28$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,50$) als auch die Instruktion der fahrfremden Tätigkeit ($F(1,51) = 8,95$, $p = 0,004$, $\eta^2 = 0,15$). So wird das Nutzererlebnis über beide Versuchsumgebungen und Expertise-Gruppen bei der Instruktion eines Quiz höher bewertet als bei freier Wahl der Tätigkeit. Auch der Interaktionseffekt zwischen den Fahrmanövern und der Instruktion ist signifikant ($F(5,47) = 2,86$, $p = 0,025$, $\eta^2 = 0,23$).

Zuletzt unterscheiden sich Laien und Experten über alle genannten Bedingungen nicht signifikant voneinander ($F(1,51) = 0,69$, $p = 0,41$, $\eta^2 = 0,01$). Auch die Interaktionen der Expertise mit der Versuchsumgebung ($F(1,51) = 0,20$, $p = 0,661$, $\eta^2 = 0,00$), mit der fahrfremden Tätigkeit ($F(1,51) = 0,24$, $p = 0,626$, $\eta^2 = 0,01$) sowie mit den Fahrmanövern ($F(5,47) = 1,49$, $p = 0,212$, $\eta^2 = 0,14$) ist nicht signifikant.

Für eine detailliertere Interpretation der Manöverbewertung wird nun auf die Einzelitems der Bewertungsskala eingegangen.

Über alle Rahmenbedingungen unterscheidet sich die Bewertung des Gefühls *Andere aufzuhalten* nicht zwischen Wizard-of-Oz und Fahrsimulator ($F(1,51) = 2,54$, $p = 0,117$, $\eta^2 = 0,05$). Jedoch haben Laien über alle Fahrmanöver, Tätigkeiten und Umgebungen stärker das Gefühl *Andere aufzuhalten* als Experten ($F(1,51) = 4,51$, $p = 0,039$, $\eta^2 = 0,80$). Laien scheinen in den gleichen Manövern sensibler dafür zu sein, sich als Verkehrshindernis zu fühlen.

Die Bewertung des Gefühls *zügig voranzukommen* unterscheidet sich über alle Bedingungen weder zwischen Experten und Laien ($F(1,51) = 0,01$, $p = 0,920$, $\eta^2 = 0,00$), noch zwischen den beiden Versuchsumgebungen ($F(1,51) = 1,56$, $p = 0,218$, $\eta^2 = 0,03$).

Detailbetrachtung des Fahrstreifenwechsels 3, Folgefahrt 1 und der Reduzierten Geschwindigkeit

Basierend auf den Erkenntnissen der vorherigen Studien werden die Bewertungen der folgenden drei Fahrmanöver detaillierter betrachtet: *Fahrstreifenwechsels 3* (ein Überholmanöver, wobei ein Folgefahrzeug aufgehalten wird), *Folgefahrt 1* (Folgefahrt hinter LKW ohne ersichtlichen Grund) und *Reduzierte Geschwindigkeit* (Geschwindigkeit wird ohne Grund auf 110 km/h reduziert). Hierzu wird jeweils die Bewertung des Gefühls *Andere aufzuhalten* (Abbildung 4-45) und *zügig voranzukommen* (Abbildung 4-46) zwischen den Versuchsumgebungen und den beiden Expertise-Gruppen miteinander verglichen.

Fahrstreifenwechsel 3

Die Probanden bewerten beim Fahrstreifenwechsel 3 das Gefühl *Andere aufzuhalten* im Simulator höher als im Realverkehr ($F(1,166) = 35,626, p < 0,001, \eta^2 = 0,561$). Des Weiteren wird das Gefühl von Laien höher bewertet als von Experten ($F(1,166) = 11,868, p < 0,001, \eta^2 = 0,488$).

Folgefahrt 1

Bei der *Folgefahrt 1* bewerten die Probanden das Gefühl *zügig voranzukommen* im Simulator niedriger als im Realverkehr ($F(1,377) = 10,598, p < 0,001, \eta^2 = 0,561$). Die Expertise hat hierbei keinen signifikanten Einfluss.

Reduzierte Geschwindigkeit

Zuletzt wird das Gefühl *zügig voranzukommen* bei der *Reduzierten Geschwindigkeit* im Simulator niedriger als im Realverkehr bewertet ($F(1,224) = 18,058, p < 0,001, \eta^2 = 0,601$). Des Weiteren wird dies von Laien stärker bewertet als von Experten ($F(1,224) = 4,892, p = 0,028, \eta^2 = 0,224$).

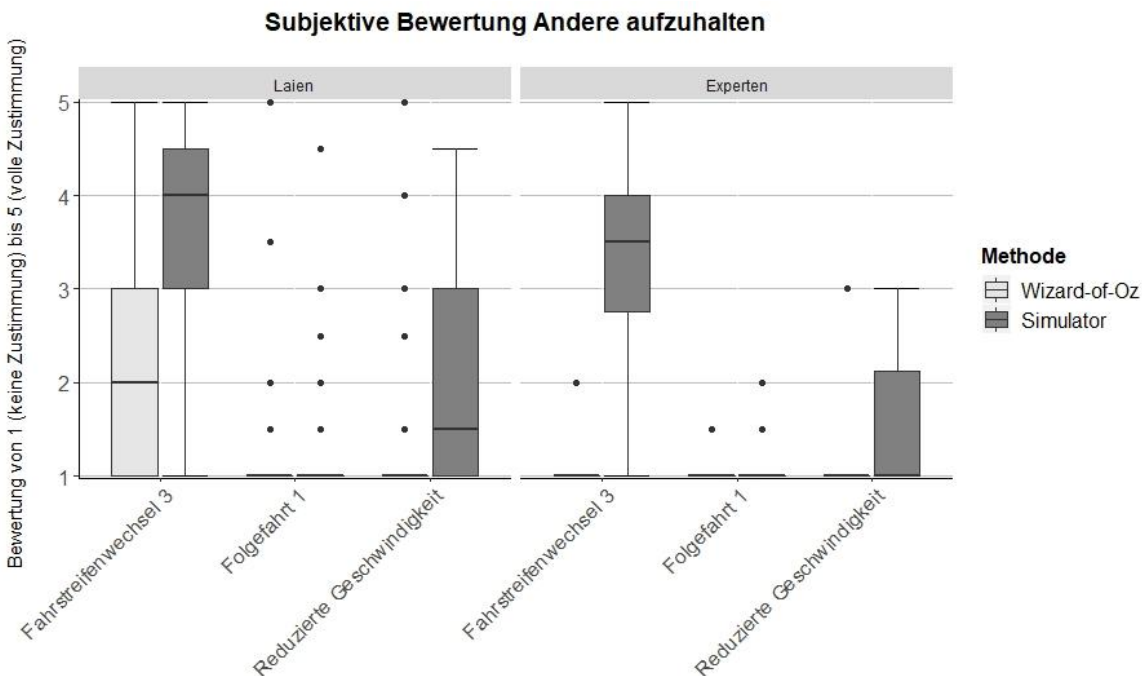


Abbildung 4-45: Subjektive Bewertung des Gefühls *Andere aufzuhalten* in Abhängigkeit der Versuchsumgebung und Expertise

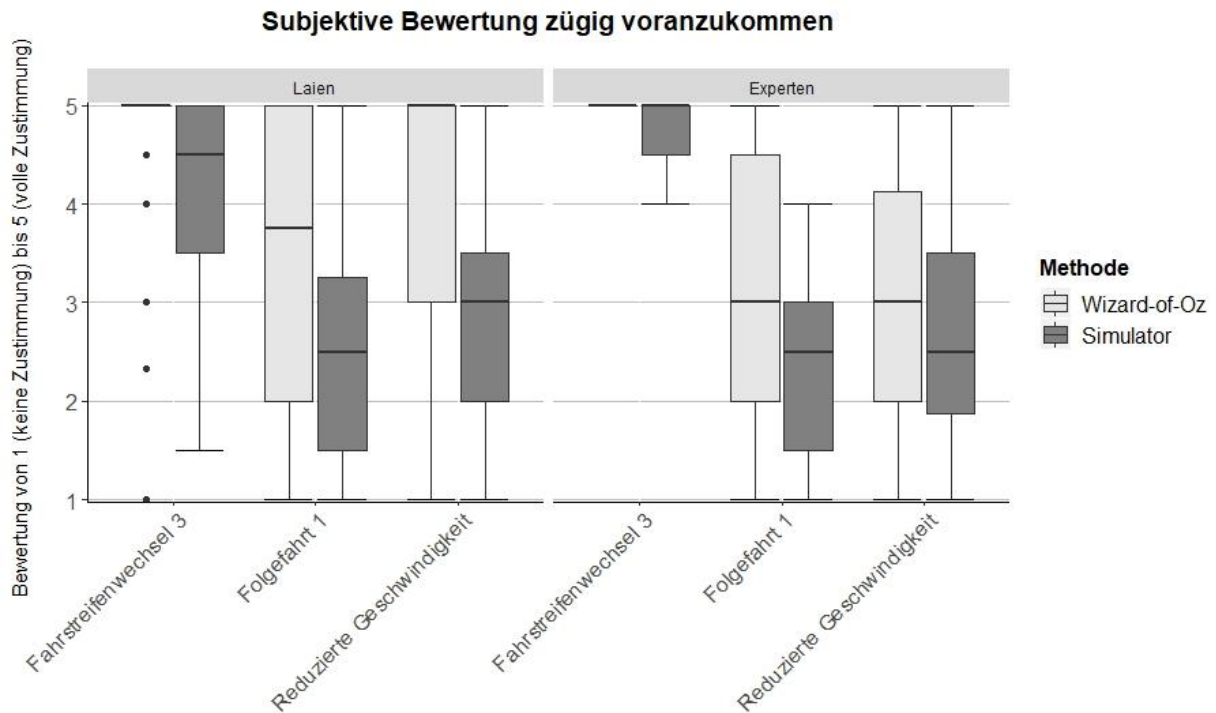


Abbildung 4-46: Subjektive Bewertung des Gefühls *zügig voranzukommen* in Abhängigkeit der Versuchsumgebung und Expertise

4.5.3 Gesamtbewertung der automatisierten Fahrt

Im Folgenden werden die Bewertungen bezogen auf die gesamte automatisierte Fahrt zwischen Wizard-of-Oz und Fahrsimulator verglichen.

In den folgenden Diagrammen ist die Bewertung der Abschlusskriterien durch Laien (Abbildung 4-47) und Experten (Abbildung 4-48) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung zu sehen. Die statistische Auswertung zeigt, dass sowohl die Versuchsumgebung ($F(1,465) = 16,10$, $p < 0,01$, $d = 0,467$) als auch die Expertise ($F(1,465) = 35,01$, $p < 0,01$, $d = 0,678$) einen signifikanten Einfluss auf die Abschlussbewertung einer automatisierten Fahrt haben. So werden im Simulator niedrigere Gesamtbewertungen abgegeben als im Wizard-of-Oz-Realversuch. Des Weiteren geben Experten niedrigere Gesamtbewertungen ab als Laien. Die Interaktion zwischen der Versuchsumgebung und Expertise zeigt eine Tendenz ($F(1,465) = 3,237$, $p = 0,073$, $d = 0,234$). Dies deutet darauf hin, dass die Versuchsumgebung Laien in ihrer Abschlussbewertung tendenziell stärker beeinflusst als Experten.

Im Anschluss werden die genannten Gründe für ein positives Erlebnis (Abbildung 4-49) und ein negatives Erlebnis (Abbildung 4-50) zwischen den Versuchsumgebungen und der Expertise miteinander verglichen. Es ist zusehen, dass im Simulator die Anzahl der Gründe für ein positives Erlebnis im Vergleich zum Realverkehr sinkt. Dieser Effekt ist unabhängig von der Expertise in fast allen genannten Kriterien sichtbar.

Bei den negativen Nennungen ist auffällig, dass in beiden Expertise-Gruppen die Folgefahrt im Simulator seltener kritisiert wird. Des Weiteren wird die erforderliche manuelle Fahrt in der Baustelle im Realverkehr in beiden Gruppen häufiger kritisiert. In allen anderen Kategorien ist kein systematischer Effekt zu erkennen.

Gesamthaft ist eine Tendenz der Expertise auf die Anzahl der genannten Komfort- und Diskomfort-Gründe sichtbar. So nennen Experten seltener positive Komfortgründe auf ihr Nutzererlebnis, jedoch häufiger negative Diskomfort-Gründe. Dieser Effekt scheint unabhängig der Versuchsumgebung zu sein.

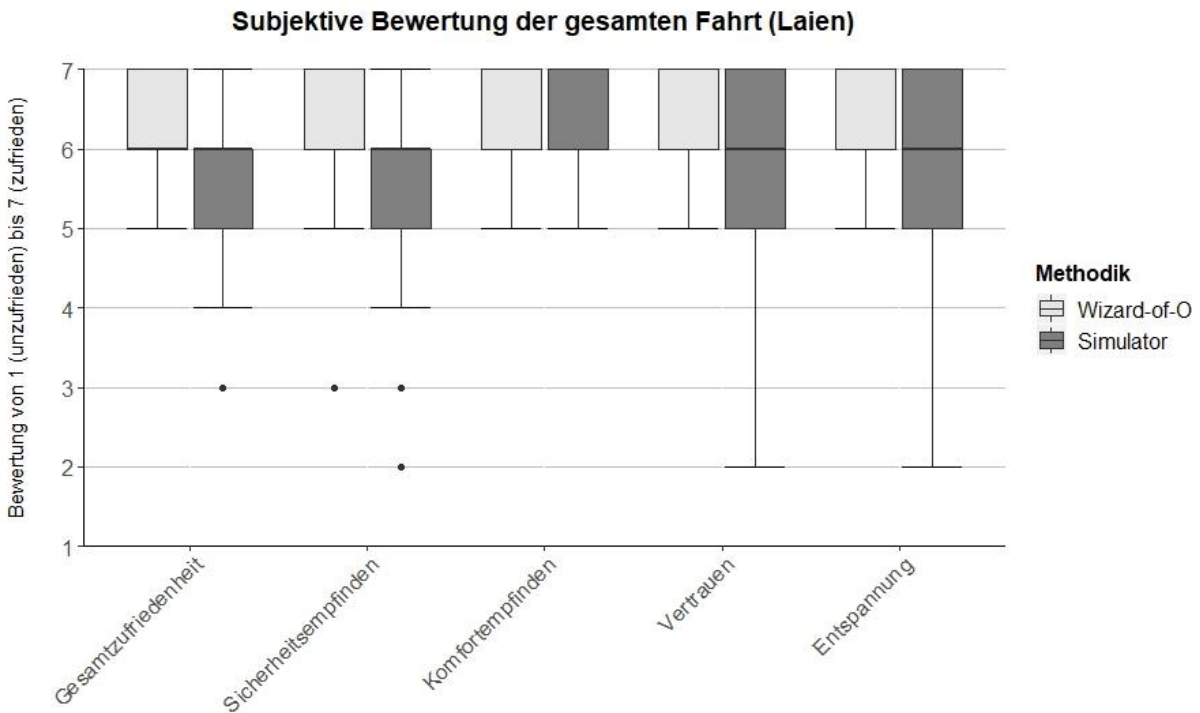


Abbildung 4-47: Subjektive Abschlussbewertungen der gesamten Fahrt durch Laien in Abhängigkeit der Versuchsumgebung

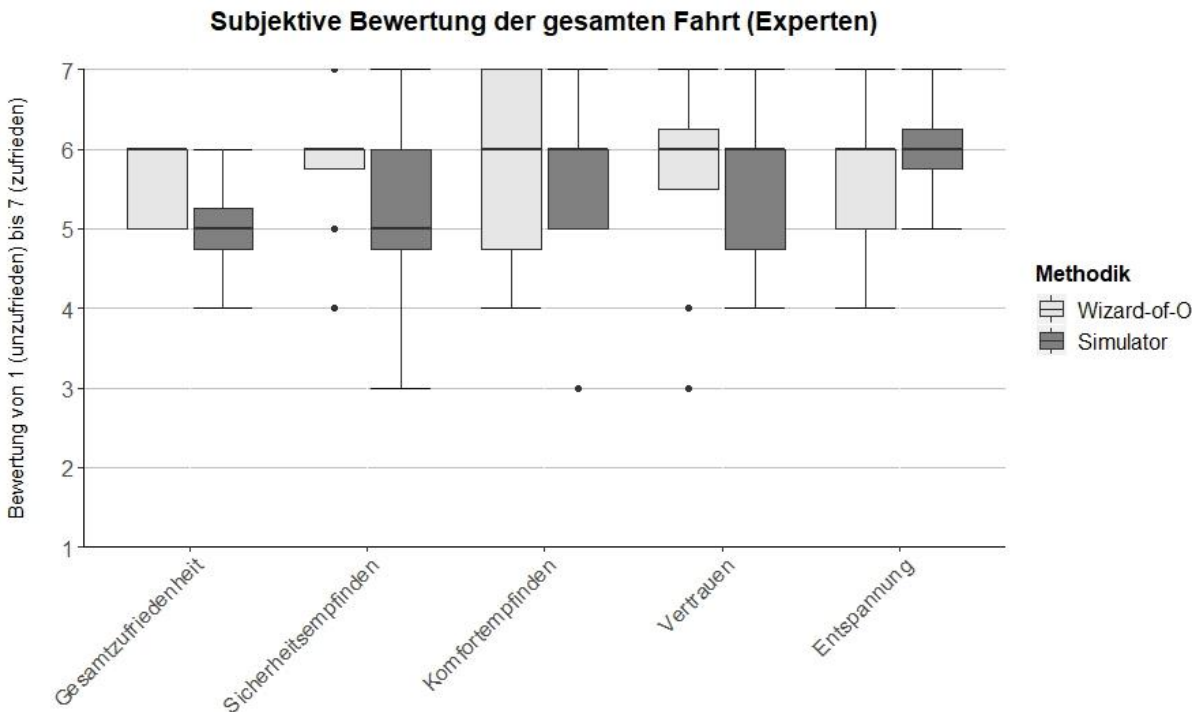


Abbildung 4-48: Subjektive Abschlussbewertungen der gesamten Fahrt durch Experten in Abhängigkeit der Versuchsumgebung

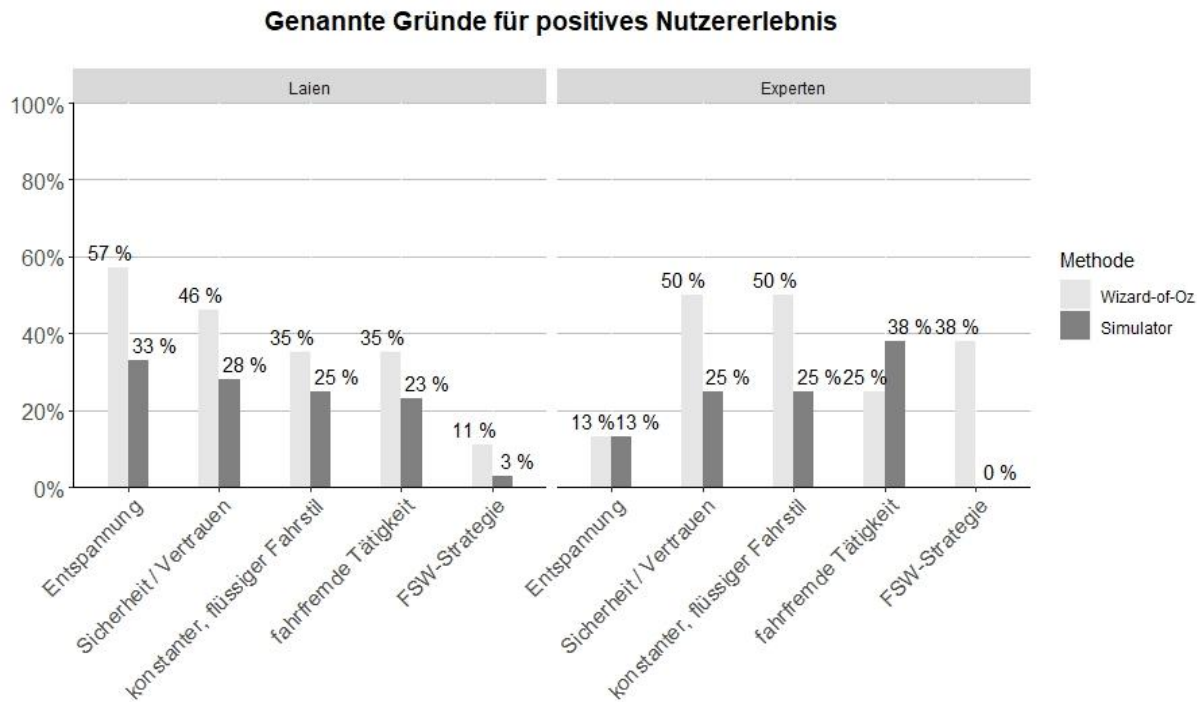


Abbildung 4-49: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für positives Nutzererlebnis in Abhängigkeit der Versuchsumgebung und Nutzerexpertise

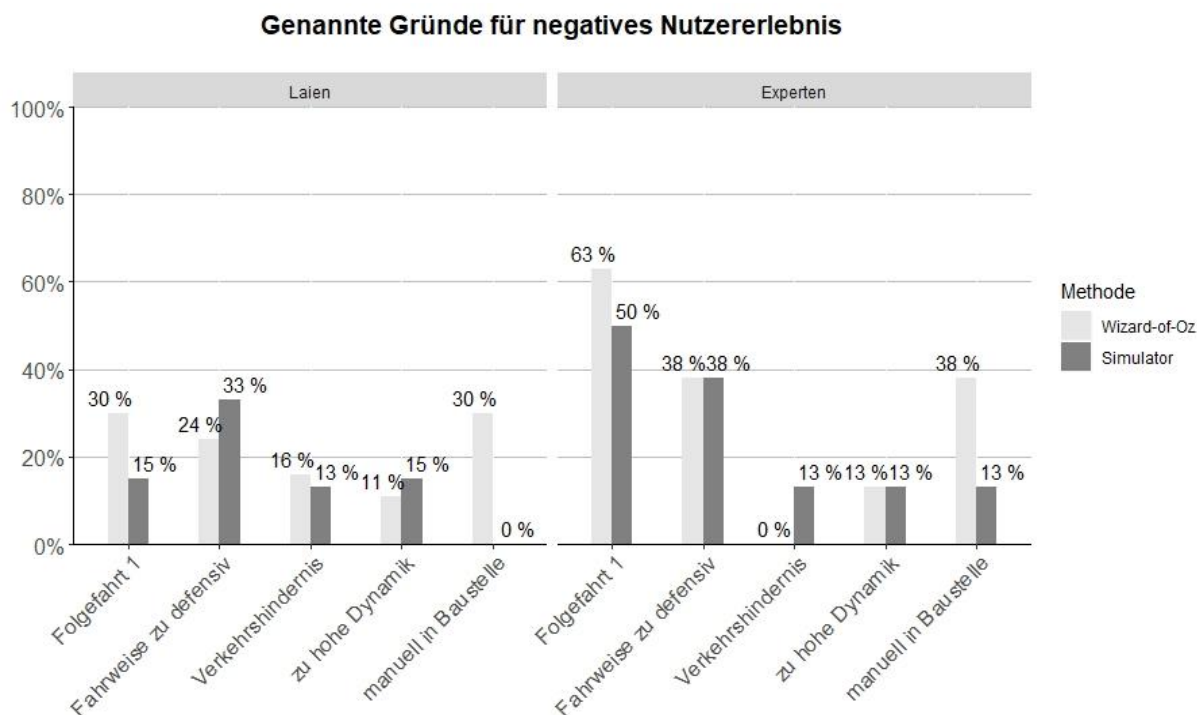


Abbildung 4-50: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für negatives Nutzererlebnisse in Abhängigkeit der Versuchsumgebung und Nutzerexpertise

4.5.4 Zusammenfassung der Versuchsreihe und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Studie 2 und 3 stellen die empirische Grundlage dar, um den Einfluss der Versuchsumgebung und der Nutzerexpertise auf die Bewertung automatisierter Fahrmanöver zu untersuchen.

Nach den Einzeluntersuchungen im Wizard-of-Oz (Studie 2; Kapitel 4.3) und im Fahrsimulator (Studie 3; Kapitel 4.4) konnten anschließend die Einflüsse der Expertise auf die Erlebnisbewertung in beiden Versuchsumgebungen untersucht werden.

Hypothese 5 (Nutzererlebnis wird im Simulator positiver bewertet)

Für den Einfluss der Versuchsumgebung auf die Bewertung des Nutzererlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern wird die Hypothese nicht angenommen. Über alle Manöver betrachtet wird das Nutzererlebnis im Fahrsimulator tendenziell negativer und kritischer bewertet als im Wizard-of-Oz. Des Weiteren werden die Kriterien der Bewertungsskala *Andere aufhalten* und *zügig vorankommen* in Einzelmanövern ebenso negativer und kritischer bewertet. Dieser Effekt deckt sich mit den Erkenntnissen von Bellem et al. (2017). In ihrer Studie wurde der Komfort beim automatisierten Fahren im Simulator negativer bewertet als auf der Teststrecke.

Dieser Effekt muss gemeinsam mit der Wahrnehmung diskutiert und interpretiert werden, da bereits in Studie 2 und 3 gezeigt wurde, dass eine instruierte Tätigkeit und Abwendung zu positiveren Erlebnisbewertungen führen. Im Fahrsimulator werden mehr automatisierte Fahrmanöver wahrgenommen als im Wizard-of-Oz. Es scheint, als ob Probanden in der Fahrsimulation aufmerksamer sind oder sich der Versuchssituation mehr bewusst sind. Diese gesteigerte Wahrnehmung im Simulator – im Vergleich zum Wizard-of-Oz – führt jedoch nicht zu positiveren Bewertungen.

Zuletzt ist der Effekt der kritischeren Bewertung im Simulator bei der Abschlussbefragung zu sehen. So werden die Kriterien Gesamtzufriedenheit, Sicherheitsempfinden, Vertrauen und Entspannung in der Fahrsimulation in Bezug auf die gesamte automatisierte Fahrt negativer als im Wizard-of-Oz bewertet. Des Weiteren werden weniger Gründe für ein positives Nutzererlebnis als im Realverkehr genannt.

Hypothese 4 (kein systematischer Einfluss der Umgebung auf den Experten-Laien-Unterschied)

Für den Einfluss der Versuchsumgebung auf den Unterschied zwischen Experten und Laien wird die Hypothese nur teilweise angenommen. Einerseits konnte in beiden Versuchsumgebungen kein Einfluss der Expertise auf die Bewertung der automatisierten Fahrmanöver ermittelt werden. Auch nehmen Experten und Laien in beiden Versuchsumgebungen gleich viele Manöver wahr. Andererseits haben Laien stärker das Gefühl *Andere aufzuhalten* als Experten und scheinen in den gleichen Manövern sensibler dafür zu sein, sich als Verkehrshindernis zu fühlen. Dieser Effekt ist vereinzelt auch beim Gefühl *zügig voranzukommen* zu erkennen.

Limitationen

Als wichtigste Limitation dieses Vergleichs müssen die Unterschiede in der Manöverdynamik genannt werden. So unterscheiden sich die meisten fahrdynamischen Kriterien in beiden Versuchsumgebungen signifikant voneinander. Dies liegt zum einen an den technischen Einschränkungen des Fahrsimulators, seines Bewegungssystems und der veränderten Tiefenwahrnehmung. Die Diskrepanz zum Wizard-of-Oz fällt in den Beschleunigungswerten jedoch gering aus und ist nach Müller, T. A. (2015) für ungeübte Fahrer unterhalb der Wahrnehmungsschwelle. Nichtsdestotrotz kann nicht ausgeschlossen werden, dass durch die unterschiedliche Fahrdynamik im Simulator mehr Fahrmanöver wahrgenommen werden.

Des Weiteren unterscheidet sich der Versuchsaufbau der beiden Studien in der Anwesenheit des Versuchsleiters. So kommuniziert die Versuchsleitung mit dem Probanden im Fahrsimulator über eine Gegensprechanlage. Im Gegensatz dazu ist die Versuchsleitung im Wizard-of-Oz-Fahrzeug auf dem Beifahrersitz, wodurch eine natürliche Fahr- und Gesprächssituation entstehen kann. Diese Anpassung im Simulator kann darin resultieren, dass sich Probanden nicht in einer natürlichen Verkehrsumgebung zu fühlen. Dies kann zu einer motivationalen Verzerrung, erhöhter Aufmerksamkeit und kritischeren Rückmeldungen führen.

5. Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

Die Entwicklung und Absicherung automatisierten Fahrens sind nicht abgeschlossen, sobald selbstfahrende Fahrzeuge so sicher wie menschliche Nutzer fahren, menschliche Fehler bei Unfällen reduziert wurden oder Nutzer von A nach B ohne eigenes Zutun fahren können. Um die gesellschaftliche Akzeptanz, die Nutzungsabsicht und das Erlebnis vor, während und nach der Fahrt zu steigern, müssen technikzentrierte und menschenzentrierte Aspekte stets gleichgestellt werden. Sollten in Zukunft alle technischen Herausforderungen in Bezug auf automatisierte Fahrfunktionen bewältigt sein, wird es in einer menschenzentrierten Entwicklung stets ungelöste Fragen geben. Sei es das Verständnis von Automationsstufen, die Transparenz des Systemverhaltens oder die viel diskutierte ethische Frage, ob das automatisierte Fahrzeug die eigenen Insassen mehr schützen soll als dritte Verkehrsteilnehmer.

Da der Erfolg dieser Technologie sehr von der subjektiv empfundenen Sicherheit, dem Komfort und einem positiven Gesamterlebnis abhängt, ist es unabdingbar Automationseffekte aus menschenzentrierter Sicht zu betrachten. Je früher dies innerhalb des Entwicklungsprozesses geschieht, desto effektiver können die Erkenntnisse in die weitere Entwicklung einfließen und optimale Lösungen gefunden werden. Je früher dies jedoch innerhalb des Entwicklungsprozesses geschehen soll, desto mehr müssen alternative Untersuchungs- und Absicherungskonzepte eingesetzt werden.

Diese Arbeit soll ihren Beitrag zu einer menschenzentrierten Entwicklung des automatisierten Fahrens leisten. Hierzu zählen Werkzeuge, die vor allem in der frühen Phase einer menschenzentrierten Entwicklung behilflich sind. Die folgenden zwei Kapitel fassen den Forschungsbereich dieser Arbeit sowie die offenen Problemstellungen, die experimentelle Vorgehensweise und die gewonnenen Erkenntnisse zusammen. Darüber hinaus sollen konkrete Gestaltungsempfehlungen ausgesprochen werden und der aus dieser Arbeit abgeleitete weiterführende Forschungsbedarf aufgezeigt werden.

5.1 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Das Ziel der vorliegenden Dissertation liegt darin Expertenbewertung zum automatisierten Fahren zu untersuchen. Die Herausforderung hierbei ist die frühe Entwicklungsphase dieser Technologie, woraus sich eine unsichere Erwartungshaltung der späteren Nutzer ergibt. Des Weiteren hat der frühe Zeitpunkt auch das Fehlen von frei verfügbaren automatisierten Fahrzeugen zur Folge. Somit müssen Versuchsumgebungen wie Wizard-of-Oz-Fahrzeuge oder Fahrsimulatoren eingesetzt werden. Unklar sind hierbei welche Wechselwirkungen bei Expertenbewertungen zum automatisierten Fahren in diesen Versuchsumgebungen entstehen und wie gut Experten die Meinung von späteren Nutzern abstrahieren können. Hierfür wurde in drei Studien erforscht, welche Faktoren die Erlebnisbewertung beeinflussen, ob die Erlebnisbewertung von Experten mit der von potentiellen Nutzern übereinstimmt und wie sich diese zwischen den Versuchsumgebungen Wizard-of-Oz und Fahrsimulator unterscheiden.

Zu Beginn der Ergebniszusammenfassung und Diskussion werden die relevanten Grundlagen zum Wizard-of-Oz als Absicherungsmethode, zum Nutzererlebnis und seiner Messbarkeit und zu Expertenbewertungen und ihren Limitationen nochmals wiederholt.

Grundlagen

Wizard-of-Oz als Absicherungsmethode für automatisiertes Fahren

Wenn der Einsatz von Prototypen technisch und zeitlich sehr aufwendig, zu teuer oder zu unsicher ist, wird in einem menschenzentrierten Entwicklungsprozess der Einsatz von Wizard-of-Oz-Methoden empfohlen. Hierdurch können bereits in frühen Entwicklungsphasen automatisierte Fahrfunktionen durch potentielle Nutzer erlebt und bewertet sowie ihre Interaktion mit dem System erforscht werden. Hierbei übernimmt ein Versuchsfahrer („Wizard“) die Fahrzeugkontrolle und simuliert das Fahrverhalten einer realen Fahrzeugautomation. Der Proband glaubt unterdessen mit einem automatisierten System zu interagieren.

Mit Hilfe dieser Methodik kann der menschenzentrierte Ansatz – die Nutzer frühzeitig das Produkt ausprobieren und bewerten zu lassen – umgesetzt werden, um iterativ das Nutzererlebnis weiterzuentwickeln. Jedoch muss die Methodik zugleich die wissenschaftlichen Gütekriterien gewährleisten, um vertrauenswürdige und valide Ergebnisse zu erzeugen. Hierfür wurde in dieser Dissertation ein Leitfaden entwickelt, mit dem das Fahrverhalten des Wizards objektiv, reliabel und valide gestaltet werden kann. Trotz dieser notwendigen Instruktionen kann es beim Einsatz eines Wizard-of-Oz-Aufbaus stets zu Unschärfen kommen, wodurch die Gütekriterien verletzt werden:

- *Objektivität:* Die Wizards sind menschliche Fahrer, die nicht absolut reproduzierbar fahren können. Des Weiteren ist es oft notwendig mehrere Wizard-Fahrer einzusetzen, um eine Überlastung zu vermeiden und Probandenstudien mit großen Stichproben in kurzer Zeit zu realisieren. Zuletzt ist ein intensives Training der Wizards unabdingbar.
- *Reliabilität:* Aufgrund des realen Verkehrsgeschehens kann das Fahrverhalten eines Wizards nicht – gemäß dem vordefinierten Leitfaden – immer reliabel und reproduzierbar sein. An erster Stelle muss die Sicherheit für alle Insassen gewährleistet werden und entsprechend auf unkontrollierbare Verkehrssituationen reagiert werden. Somit kann es vorkommen, dass einzelne Fahrmanöver von der Bewertung oder der späteren Auswertung ausgeschlossen werden, was wiederum die Stichprobengröße und Aussagekraft reduziert.
- *Validität:* Das sensibelste Gütekriterium in diesem Zusammenhang ist wohl die Validität. Wenn Prototypen in frühen Entwicklungsphasen noch nicht verfügbar sind, kann der Einsatz eines Wizard-of-Oz-Aufbaus empfohlen werden. Wenn Prototypen jedoch nicht verfügbar sind, kann das Verhalten des Wizard nicht abgeglichen und die Validität geprüft werden. Somit stützen sich die Überprüfung der Validität und die resultierenden Erkenntnisse dieser Arbeit auf die prototypische Umsetzung der automatisierten Fahrfunktion zum Zeitpunkt der Versuchsreihe.

Nutzererlebnis definieren und messen

Aufgrund seines multidisziplinären Charakters führt der Sammelbegriff Nutzererlebnis zu zahlreichen Blickwinkeln, unter denen man ihn sehen und anwenden kann. Gemeint sind in den meisten Definitionen die Reaktionen und Emotionen, die vor, während und nach der Nutzung eines Produktes entstehen. Somit

wird das Nutzererlebnis nicht nur durch die Einzelerlebnisse bei der aktiven Nutzung beeinflusst. Relevant ist auch die Erwartungshaltung zum Produkt, die durch die passive Nutzung davor entsteht, oder die Verarbeitung des Erlebten nach einiger Zeit.

Es wird schnell deutlich, wie wichtig die Definition der Zeitspanne ist, wenn man über Nutzererlebnis spricht und dieses messen möchte. Dabei haben alle Zeiträume ihre Berechtigung. Die Antizipation wird bestimmt durch die Erfahrungen, die Nutzer bisher mit den gleichen oder ähnlichen Produkten gemacht haben. Das momentane Erlebnis bindet den Nutzungskontext der Nutzer, ihre Nutzungsabsicht und die Bedürfnisse der Nutzer ein, die bei einem positiven Erlebnis erfüllt werden müssen. Und zuletzt berücksichtigt die Reflektion des Erlebten die positiven und negativen Eigenschaften des Produktes und seiner Funktionalität.

Untersucht man Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren, müssen somit die genannten Einflussfaktoren definiert werden:

- Automatisierte Fahrfunktion und ihr Verhalten
- Vorerfahrung der Nutzer
- Bedürfnisse der Nutzer
- Situationen während der Fahrt und ihr Kontext

Die vorliegende Dissertation hat diese Fragen in Form eines Instruktionsleitfadens, der Unterscheidung zwischen der Nutzerexpertise, einer explorativen Studie zur Bedürfniserfüllung von Nutzern und der Definition von Fahrmanövern adressiert. Die gewonnenen Erkenntnisse müssen somit stets in Zusammenhang mit den festgelegten Rahmenbedingungen interpretiert und diskutiert werden.

Expertenbewertungen richtig anwenden

Experten sind notwendig, um Ergebnisse aus Nutzungsanalysen zu interpretieren, die Entwicklung von Systemen mit ihrer Erfahrung und Wissen zu leiten und die Meinung potentieller Nutzer zu abstrahieren, wenn diese nicht gefragt werden können. Der Einsatz von Expertenbewertungen schafft aber auch ein Dilemma. Einerseits kann die Validität von Expertenurteilen nicht immer eingeschätzt werden. Andererseits können Experten in ihrer Urteilsbildung verzerren und sind sich nicht immer einig.

Da die Validität einer Expertenbewertung mit dem Auswahlprozess steigt und fällt, muss Expertise zunächst definiert werden. In der Versuchsreihe dieser Dissertation werden Experten im Rahmen der Absicherung automatisierter Fahrfunktionen definiert. So werden Mitarbeiter verwendet, die in ihrem Beruf automatisierte Systeme gegenüber den Nutzeranforderungen kritisch bewerten. Diese sogenannten Erprober haben durch ihre intensive Nutzung mehr Erfahrung mit automatisierten Funktionen als Laien. Sie verfügen über überdurchschnittliches Fachwissen, um die Funktionalität zu beschreiben und Fehler zu bewerten. Und zuletzt sind sie Mitarbeiter des gleichen Unternehmens und sind nicht vor kognitiver und motivationaler Verzerrung geschützt.

Nach der Wiederholung der Grundlagen werden im Folgenden die relevanten Erkenntnisse der Versuchsreihe dieser Dissertation in drei Kategorien zusammengefasst: Einflussfaktoren auf das Nutzererlebnis, der Einfluss der Nutzerexpertise auf die Erlebnisbewertung und der Einfluss der Versuchsumgebung auf die Erlebnisbewertung.

Einflussfaktoren für das Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren

In Studie 1 der Versuchsreihe wurde mit Hilfe eines Wizard-of-Oz-Aufbaus im Realverkehr explorativ untersucht, welche Einflussfaktoren auf das Nutzererlebnis während und nach einer automatisierten Fahrt wirken. Es sollten die Bedürfnisse potentieller Nutzer ermittelt werden, die zu einem positiven (oder negativen) Erlebnis führen. Die Erkenntnisse dieser Studie waren Grundlagen für den anschließenden Vergleich zwischen Experten und Laien im Rahmen der Erlebnisbewertung.

Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2 zeigen die in Studie 1 und in Omozik et al. (2019) diskutierten Erkenntnisse aus dem Erstkontakt eines Nutzers mit einem automatisierten Fahrzeug. Trotz der Möglichkeit sich mit fahrfremden Tätigkeiten zu beschäftigen, beobachten Nutzer bewusst das Fahrverhalten, insbesondere automatisierte Fahrstreifenwechsel und die Anpassung an eine Geschwindigkeitsbegrenzung. Die anhand der Körperposition ermittelte Entspannung wird im Durchschnitt nach 10 min automatisierter Fahrt beobachtet. Im Fokus des Erstkontaktes der Nutzer stehen mit Fahrstreifenwechsel und Geschwindigkeitsanpassung somit nicht fahrdynamische, sondern fahrstrategische Faktoren einer automatisierten Fahrt.

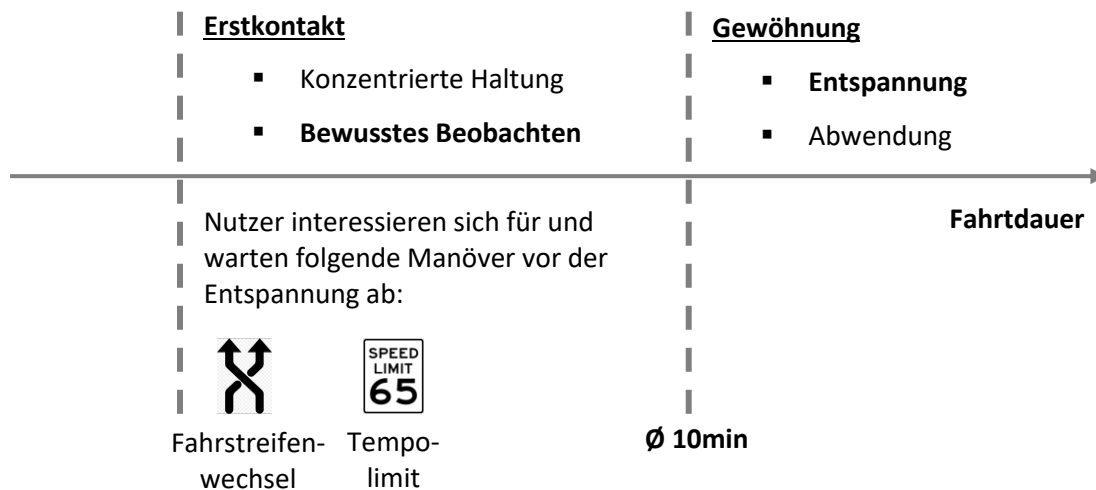


Abbildung 5-1: Erstkontakt und Gewöhnungsphase der ersten automatisierten Fahrt eines Nutzers

Des Weiteren verdeutlicht die Abbildung 5-2 den besonderen Stellenwert fahrstrategischer Aspekte bei einer automatisierten Fahrt. Die Gründe für negative Nutzererlebnisse wurden durch eine qualitative Befragung nach der Fahrt adressiert. Beschränkt man somit den automatisierten Fahrstil auf einen defensiven und sicherheitsorientierten Bereich – wie beim Einsatz eines Wizard-of-Oz-Versuchsfahrzeugs notwendig und vorgeschrieben – tritt die in Studien oft untersuchte Fahrdynamik einer automatisierten Fahrt in den Hintergrund. In den Vordergrund kommen Aspekte der Fahrstrategie.

Somit konnten die folgenden Nutzerbedürfnisse ermittelt werden:

- *Verkehrshindernis*
Nutzer möchten nicht als Verkehrshindernis wahrgenommen werden oder andere Verkehrsteilnehmer aufhalten.

- *Strategie der Fahrstreifenwechsel*
Nutzer möchte nicht zu spät zu einem Fahrstreifenwechsel ansetzen oder hinter einem LKW herfahren.
- *Verkehrsfluss*
Nutzer möchten im Verkehrsgeschehen mitschwimmen und nicht langsamer fahren als nötig.

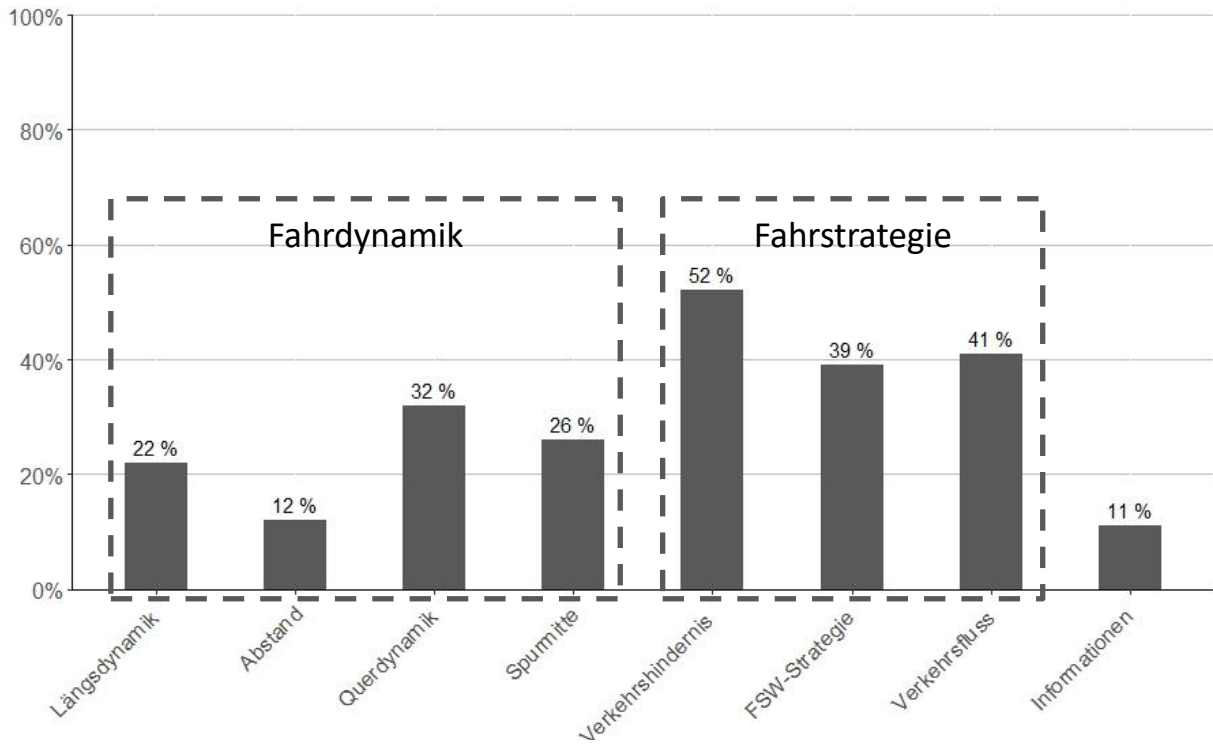


Abbildung 5-2: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für negatives Nutzererlebnis

Zuletzt wurde mit Hilfe der Ergebnisse aus Studie 1 eine Skala (siehe Tabelle 5-1) für die momentane Bewertung automatisierter Fahrmanöver entwickelt. Mit Hilfe dieser Bewertungsskala kann die Erfüllung der relevantesten Nutzerbedürfnisse abgefragt werden und das Nutzererlebnis situativ gemessen werden.

Tabelle 5-1. Bewertungsskala für situatives Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren

	<i>Keine Zustimmung</i>				<i>Volle Zustimmung</i>
1. „Ich war mit dem Fahrverhalten zufrieden .“	1	2	3	4	5
2. „Ich hatte das Gefühl Andere aufzuhalten .“	1	2	3	4	5
3. „Ich hatte das Gefühl zügig voranzukommen.“	1	2	3	4	5

Unterschied zwischen Experten und Laien bei der Erlebnisbewertung

In Studie 2 und 3 wurde der Einfluss der Nutzerexpertise auf die Bewertung automatisierter Fahrmanöver und der gesamten automatisierten Fahrt untersucht. Es wird deutlich, dass Experten nicht immer kritischer bewerten, sondern die Nutzermeinung in den meisten Situationen abstrahieren können. Dies deckt sich

mit den Erkenntnissen aus der bisherigen Forschung. So postuliert Müller, T. A. (2015), dass Experten und Normalfahrer eine ebenbürtige Beurteilungskompetenz haben. Auch Simon et al. (2011) konnten keinen signifikanten Bewertungsunterschied bei der Spürbarkeit von Beschleunigungsunterschieden zwischen zwei Expertise-Gruppen feststellen.

Auch der Vergleich von Experten mit Untergruppen der Laien – wie beispielsweise Laien eines bestimmten Geschlechts, Laien mit überdurchschnittlich hoher Fahrerfahrung oder Eigentümer einer bestimmten Fahrzeugmarke – haben keinen systematischen Effekt gezeigt.

Treten jedoch Unsicherheiten des automatisierten Fahrzeugs auf, können diese aufgrund eines gesteigerten Systemverständnisses und höherer Vorerfahrung besser verstanden und gerechtfertigt werden. Dieses Verständnis der Unsicherheiten führt zu einer positiveren Bewertung der Experten gegenüber den Laien. So haben Experten bei Fahrstreifenwechsel mit nachfolgendem Verkehr weniger das Gefühl andere Verkehrsteilnehmer aufzuhalten als Laien. Die Sorge als Verkehrshindernis aufzufallen scheint – in beiden untersuchten Versuchsumgebungen – bei Laien größer zu sein.

Ähnlich verhält es sich mit dem Gefühl zügig voranzukommen. Führt die Unsicherheit des automatisierten Systems dazu, dass das Fahrzeug subjektiv unnötig langsamer fährt als möglich, wird der fehlende Verkehrsfluss von Laien stärker kritisiert als von Experten. Dieser Effekt kehrt sich jedoch mit einer Abwendung durch eine instruierte fahrfremde Tätigkeit und in einer simulierten Versuchsumgebung um.

Gesamthaft betrachtet sind aufmerksame Nutzer kritischer als abgelenkte Nutzer. Die Instruktion einer fahrfremden Tätigkeit führt durch die resultierende Abwendung zu einer positiveren Bewertung einzelner Fahrmanöver. Hierbei sind Experten im Realverkehr aufmerksamer als Laien und Nutzer in der Simulation aufmerksamer als im Realverkehr.

Abschlussbewertung

In Bezug auf die Gesamtbewertung der automatisierten Fahrt wurde sowohl in Studie 2 als auch in Studie 3 ein signifikanter Einfluss der Expertise gemessen. Experten bewerten besonders im Realverkehr subjektive Kriterien wie die Gesamtzufriedenheit, die Sicherheits- und Komfortempfinden sowie das empfundene Vertrauen schlechter als Laien. In der Summe findet sich dieser Effekt auch im Fahr Simulator. Des Weiteren verbinden Laien eine automatisierte Fahrt stärker mit Entspannung als Experten.

Betrachtet man die Zeiträume des Erlebnisses während und nach der Fahrt, stellt sich die Frage, warum sich die Einzelbewertungen zwischen Experten und Laien nicht unterscheiden, jedoch aber die Abschlussbewertungen. Hierzu haben Himmels et al. (2021) festgestellt, dass besonders bei automatisierten Fahrten mit vielen systemseitigen Unsicherheiten oder Fahrfehlern die Summe aller Einzelbewertungen nicht der Abschlussbewertung der gesamten Fahrt entspricht. Somit scheint in Studie 2 und 3 die kognitive und motivationale Verzerrung unter Laien bei der abschließenden Bewertung unterschiedlich ausgeprägt zu sein als unter Experten.

Für diesen Einfluss der Expertise auf die Verzerrung bei der Abschlussbewertung einer automatisierten Fahrt wird auf die Theorie des Kulturschocks verwiesen. Lienkamp und Diermeyer (2019) wenden in ihrer Vorlesung das durch die Anthropologin Cora DuBois geprägte Modell des Kulturschocks (Dutton, 2011) an. Dies bezeichnet in vier Phasen den schockartigen Zustand, in den man verfällt, wenn man auf eine fremde Kultur trifft, bis hin zur Akzeptanz der Kulturunterschiede im eigenen Alltag. Lienkamp und Diermeyer übersetzen die Phasen dieses Modells in die Kundenzufriedenheit während des Kontaktes mit

einem Produkt. Abbildung 5-3 verdeutlicht, wie sich nach dieser Theorie die Zufriedenheit der Nutzer über die Zeit anpasst und die Einstellung zum Produkt ändert.

Genau hier liegt der Unterschied zwischen Experten und Laien. Untersucht man Effekte einer automatisierten Fahrfunktion auf die Nutzer, handelt es sich bei laienhaften Probanden – vor der Einführung automatisierter Fahrzeuge – stets um einen Erstkontakt mit diesem System. Nach der Theorie des Kulturschocks ist diese Phase geprägt durch Euphorie und eine überdurchschnittlich hohe Zufriedenheit. Der zeitliche Vorsprung der Experten führt diese jedoch bereits in die weiteren Phasen des Schocks oder der Auseinandersetzung. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen von Karapanos et al. (2008), nach denen sich die Wahrnehmung der Qualitäten eines Produktes sowie die Einstellung zum Produkt ändern und Nutzer mit längerer Nutzungserfahrung die Merkmale des Systems anders gewichten. Auch Fripp (2017) postuliert, dass die Zufriedenheit von Nutzern ein Plateau über die Zeit erreicht und sich auf einem mittleren Niveau einpendelt („just satisfied“).

Die beschriebenen Phänomene stimmen mit den Erkenntnissen aus der Versuchsreihe dieser Dissertation überein. Besonders in einer Realverkehrsstudie können Euphorie und überdurchschnittliche Zufriedenheit der Laien gemessen werden. Selbst in einer Fahrt mit Unsicherheiten des Systems, werden hohe Gesamtbewertungen erzielt, da die Abschlussbewertung des Nutzers nicht der Summe aller Einzelbewertungen entspricht (Himmels et al., 2021)

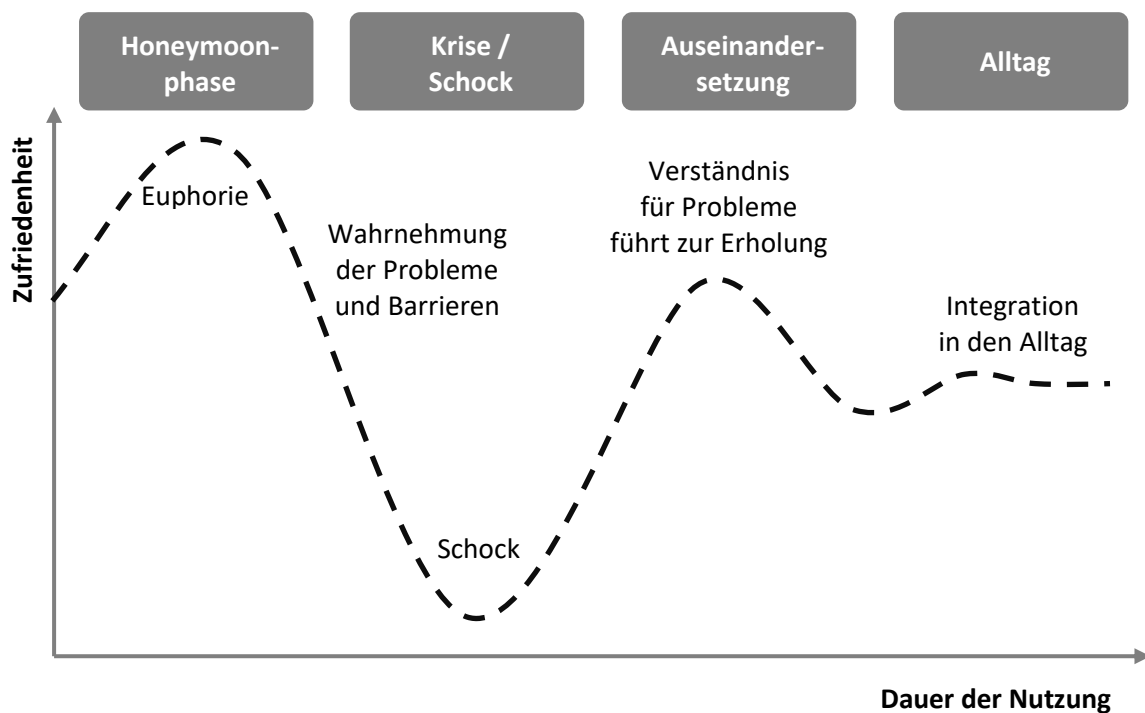


Abbildung 5-3: Modell des Kulturschocks in Anlehnung an DuBois (1951) und Dutton (2011)

Wizard-of-Oz oder Fahrsimulator – wo liegt die Wahrheit?

Mit Hilfe von Studie 2 und 3 können die Bewertungen des Nutzererlebnisses in zwei unterschiedlichen Versuchsumgebungen verglichen werden. Hierzu können die Erkenntnisse der Wahrnehmung, der momentanen Bewertung einzelner Fahrmanöver sowie der Abschlussbefragung aus dem Wizard-of-Oz-Fahrzeug und dem Fahrsimulator gegenübergestellt werden.

Bereits beim Aufbau beider Studien wurde die eingeschränkte Vergleichbarkeit sichtbar, da Kriterien der Fahrdynamik, Fahrbahnanregung, Geräuschkulisse, Abstandswahrnehmung und des Versuchsaufbaus technisch nicht replizierbar waren oder angepasst werden mussten. So wird das Bewegungssystem eines Simulators (das per se bereits träge sein kann) für einen Versuch gesamthaft skaliert, was zu einer weniger feinfühligten Dynamik im Vergleich zu einem Realfahrzeug führen kann. Des Weiteren nehmen Probanden aufgrund der simulierten Umgebung und fehlender Referenzpunkte Abstände und Tiefe unterschiedlich wahr und kommunizieren über eine Gegensprechanlage anstatt direkt mit dem Beifahrer.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Probanden in der Fahrsimulation mehr automatisierte Fahrmanöver und Unsicherheiten der Automation wahrnehmen. Gleichzeitig kann dieser Einfluss des Simulators jedoch dazu führen, dass Details einer automatisierten Fahrt angemerkt werden, die im Realverkehr nicht beachtet werden oder unterhalb der Wahrnehmungsschwelle liegen.

Weiterhin führt der Einfluss der Simulation dazu, dass einzelne automatisierte Fahrmanöver negativer bewertet werden. Zum einen wird das Nutzererlebnis während allen definierten Manövern im Fahrsimulator tendenziell kritischer bewertet als im Wizard-of-Oz. Zum anderen werden die Kriterien der Bewertungsskala *Andere aufhalten* und *zügig vorankommen* in den Einzelmanövern negativer bewertet. Zuletzt wurden im Wizard-of-Oz auch in den Abschlussbefragungen höhere Bewertungen zum Gesamterlebnis erzielt. Hierbei fallen zum einen Kriterien wie Gesamtzufriedenheit, Komfort und Vertrauen im Vergleich zum Simulator signifikant höher aus. Zum anderen wurden mehr positive Erlebnisse bei der qualitativen Befragung genannt.

Gesamthaft helfen die Erkenntnisse bei der Abwägung und Auswahl einer geeigneten Versuchsumgebung zur Untersuchung des Nutzererlebnisses beim automatisierten Fahren. Wenngleich beide Versuchsumgebungen die Messung des Nutzererlebnisses verzerren können, haben beide Methoden ihre Vorteile und Daseinsberechtigung:

- So führt die reproduzierbare Umgebung der Fahrsimulation zu weniger fehlenden Daten, da explizite Fahrmanöver im Realverkehr eingeschränkt wiederholbar und bewertbar sind. Diese experimentelle Kontrolle gewährleistet die Reliabilität und interne Validität des Versuches. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse, dass Unsicherheiten im automatisierten Fahrverhalten im Simulator einfacher durch Nutzer erkannt und bewertet werden können. Diese werden im Wizard-of-Oz tendenziell mehr von Probanden akzeptiert und seltener kritisiert.
- Kann man jedoch bereits von einer ersten Gewöhnung der Probanden mit einer Technologie ausgehen (und ist somit die Euphorie aus dem Kulturschock-Modell überwunden), ist es bezüglich der externen Validität unabdingbar Versuche mittels eines Wizard-of-Oz-Aufbaus im Realverkehr durchzuführen.

„We do not know what and where the ground truth is. Every researcher has to decide for themselves which test environment is the most suitable for their research question.“ (Omozik et al., im Druck).

5.2 Gestaltungsempfehlungen

Nutzererlebnis stets situativ (diagnostisch) und gesamthaft (summativ) bewerten

Die automatisierten Fahrmanöver selbst hatten in der gesamten Versuchsreihe einen signifikanten Einfluss auf die Bewertung des Nutzererlebnisses. Gleichzeitig wurden besonders bei Laien sehr hohe Werte in der Gesamtbewertung der automatisierten Fahrt erzielt. Dies führt zu der Schlussfolgerung bei der Untersuchung des Nutzererlebnisses stets eine Kombination aus momentaner Bewertung einzelner Situationen und einer gesamthaften Abschlussbewertung einzusetzen. Die Relevanz von situativen Befragungen – im Vergleich zu reinen Abschlussbewertungen, bei denen Deckeneffekte eintreten können – deckt sich mit den Erkenntnissen von Himmels et al. (2021).

Automatisierte Fahrt auf Basis von einzelnen Fahrmanövern bewerten

Analog zum Einsatz von momentanen Erlebnisbewertungen während einer automatisierten Fahrt, sollte auch die Automation selbst situativ bezogen auf einzelne Fahrsituationen bewertet werden. So war die Bewertung des Nutzererlebnisses in der gesamten Versuchsreihe stets abhängig von den Fahrsituationen. Demnach empfinden Probanden die Aspekte „zügig voranzukommen“ und „Andere aufzuhalten“ als besonders relevant, diese können jedoch abhängig von der Situation unterschiedlich gewichtet oder ausgeprägt sein. Die situative Bewertung führt hierbei zu genaueren Bewertungen und Interpretationen.

Fahrfremde Tätigkeit abhängig von der Fragestellung festlegen

Ferner hatten die Instruktion und die Art der fahrfremden Tätigkeit – sowie die daraus resultierende Abwendung – Einfluss auf die Wahrnehmung automatisierter Fahrmanöver und ihrer Bewertung. Probanden mit einer instruierten Nebentätigkeit nehmen weniger Situationen während einer automatisierten Fahrt wahr und bewerten ihr Nutzererlebnis während wahrgenommenen Manövern positiver. Dies führt zu der Empfehlung den Einsatz und die Art der fahrfremden Tätigkeiten zu kontrollieren und zu variieren.

Experten unterscheiden sich situativ von Laien und zeigen eine Tendenz zur stabileren Bewertung auf

Zwar konnte kein übergreifender systematischer Einfluss der Expertise auf die Varianz der Erlebnisbewertung festgestellt werden, dennoch fällt in beiden Versuchsumgebungen in einzelnen Fahrmanövern die – im Vergleich zu Laien – tendenziell kleinere Streuung der Expertenbewertungen auf. Die kleine Stichprobe der Experten kann hierbei ein Grund für die Tendenzen aber seltenen signifikanten Unterschiede sein. Anhand der deskriptiven Statistik werden jedoch Hinweise auf eine stabilere Bewertung durch Experten mit geringerer Varianz ersichtlich. Für eine detaillierte Untersuchung hierzu wird jedoch eine größere Expertenstichprobe empfohlen.

Untersucht man den Unterschied in der Erlebnisbewertung zwischen Experten und Laien muss dies analog zu den Fahrmanövern situativ betrachtet werden. So gibt es automatisierte Fahrmanöver, die im Zusammenhang mit der fahrfremden Tätigkeit, von Experten und Laien unterschiedlich bewertet werden. Hierbei unterscheidet sich auch das Empfinden andere Verkehrsteilnehmer aufzuhalten und selbst zügig voranzukommen. Da jedoch der Bias der Expertise bei einer innovativen Technologie wie dem automatisieren Fahren nicht vorhergesagt werden kann, ist es nach Kahneman und Klein (2009) zu empfehlen, Expertenbewertungen für das automatisierte Fahren stets auf ihre tatsächliche Leistung und Validität in jedem Einzelfall zu prüfen. Je nachdem in welchen Situationen ein Bias auftritt, kann entschieden werden, ob man diesen versucht zu reduzieren oder diesen bewusst in Kauf nimmt (Kovic, 2020).

5.3 Weiterführender Forschungsbedarf

Zum Abschluss dieser Arbeit sollen die gemachten Erfahrungen genutzt werden, um den Forschungsbedarf für nachkommende Kollegen und Studien zu beschreiben. Dabei ergibt sich der weiterführende Forschungsbedarf aus den Limitationen der Methodik und Studien sowie den Themen, die aus Zeit- und Kostengründen im Rahmen dieser Arbeit nicht aufgearbeitet werden konnten. Außerdem sind darunter eben die Erkenntnisse, die sich erst im Laufe der Studienreihe aufgezeigt haben.

Bei der Untersuchung von Expertise auf die Bewertung des Nutzererlebnisses wurde bewusst eine kleine Stichprobe an Experten gewählt. Die Gründe hierfür sind die geringe Verfügbarkeit an Experten sowie Kosten- und Aufwandseinsparungen im Entwicklungsprozess. Eine kleine Stichprobe kann jedoch eine geringe Effektstärke und eine eingeschränkte statistische Trennschärfe zur Folge haben. Dem kann durch eine ausreichend große Expertenstichprobe entgegengewirkt werden. Idealerweise kann in nachfolgenden Studien die Stichprobengröße für Experten und Laien so weit angeglichen werden, dass zudem parametrische Verfahren bei der Auswertung verwendet werden können.

Des Weiteren handelt es sich bei den Expertenstichproben in diesen Versuchsreihen um Mitarbeiter des Unternehmens. Gleichzeitig besetzen sie alle in ihrem Beruf eine kritische und bewertende Rolle. Beide Aspekte können ein Bias zur Folge haben und zu einer Verzerrung in der Bewertung führen. Dies kann vermieden werden, indem in einem Vergleich mit Laien unternehmensferne Experten herangezogen werden, die eine fachliche Expertise aufweisen, jedoch keinen Bezug zur Marke, der Arbeitssituation oder der Tätigkeit der Erlebnisbewertung haben.

Betrachtet man die Gruppe der Laien wurde in den Versuchsreihen eine heterogene Verteilung der Stichprobe und Probandenmerkmale angestrebt. Ein Grund hierfür ist unter anderem die neue Technologie des automatisierten Fahrens und die noch unbekannte Zielgruppe der späteren Nutzer. Sobald jedoch eine genauere Charakterisierung und Eingrenzung der zukünftigen Nutzer möglich sind, können die Nutzerbedürfnisse und Erwartungen (u.a. durch die Experten) genauer abstrahiert werden und eine geringere Varianz in der Erlebnisbewertung erzielt werden. So wäre es denkbar sich bei der Rekrutierung der Laien auf Nutzer bestimmter Fahrzeugklassen (Premiumfahrzeuge), mit bestimmten Nutzungsprofilen (Vielfahrer) oder Nutzer mit bestimmten Vorerfahrungen und Technologieaffinitäten zu fokussieren.

Des Weiteren kann die Vorerfahrung von Experten und ihre ständige Auseinandersetzung mit dem System zu einem zeitlichen Vorsprung in der Nutzung führen. Experten befinden sich nach dem Modell des Kulturschocks (Dutton, 2011) in einer späteren Nutzungsphase als Laien und können die alltägliche Herausforderungen in der täglichen Nutzung besser abstrahieren. Durch eine wiederholte Teilnahme der Laien könnte in zukünftigen Untersuchungen – neben dem Erstkontakt – eine Gewöhnungsphase erzeugt werden und Laien ebenso in diese alltagsnahe Auseinandersetzung gebracht werden.

Zuletzt ist festzuhalten, dass es bei Expertenbewertungen stets notwendig ist ihre tatsächliche Leistung und Validität für jeden Einsatzzweck individuell zu prüfen (Galaske, 2017; Kahneman & Klein, 2009). Da der Kontext der Nutzung einen relevanten Einfluss auf ihre Bewertung haben kann, ändert sich eben dieser Einsatzzweck, wenn sich die Ausprägung der Automation und somit der Kontext der Nutzung ändert (wie andere Straßentypen, Geschwindigkeitsbereiche oder Grad der Automation). Auch die Kultur der Nutzer kann Einfluss auf die Bedürfnisse der Laien und das Urteil der Experten haben. Die Methode der Expertenbewertung muss somit stets geprüft und erneut validiert werden.

6. Literaturverzeichnis

- Abendroth, B., Schreiber, M., Bruder, R., Maul, S. & Maul, D. (2012). Neue Ansätze zur Beurteilung der Fahrsimulatorvalidität. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 66 (1).
- Ahlberg, J., Arsic, D., Ganchev, T., Linderhed, A., Menezes, P., Ntalampiras, S. et al. (2008). *Prometheus: Prediction and interpretation of human behaviour based on probabilistic structures and heterogeneous sensors*. ECAI.
- Alben, L. (1996). Quality of experience. defining the criteria for effective interaction design. *interactions*, 1113 (3), 11-15.
- Allen, R. W., Rosenthal, T. J. & Cook, M. L. (2011). A short history of driving simulation. In D. L. Fisher, M. Rizzo, J. K. Caird & J. D. Lee (Eds.), *Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology*. Boca Raton: CRC Press.
- Andersen, G. J. (2011). Sensory and Perceptual Factors in the Design of Driving Simulation Displays. In D. L. Fisher, M. Rizzo, J. K. Caird & J. D. Lee (Eds.), *Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology*. Boca Raton: CRC Press.
- Aringer-Walch, C., Conti-Kufner, A., Prash, L., Omozik, K. & Walter, M. (2018). *User Experience (UX)*, Technische Universität München. Zugriff am 23.12.2018. Verfügbar unter www.lfe.mw.tum.de/forschung/forschungsgruppen/user-experience-ux/
- Ashton, R. H. (2012). Reliability and Consensus of Experienced Wine Judges: Expertise Within and Between? *Journal of Wine Economics*, 7 (1), 70-87.
- Autotech. (2018). *46 Corporations Working On Autonomous Vehicles*, CB Insights. Zugriff am 01.01.2019. Verfügbar unter www.cbinsights.com/research/autonomous-driverless-vehicles-corporations-list/
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of Automation. *Automatica*, 19 (6), 775-779.
- Baltodano, S., Sibi, S., Martelaro, N., Gowda, N. & Ju, W. (2015). The RRADS Platform: A Real Road Autonomous Driving Simulator. In *AutomotiveUI 2015* (S. 281-288). Nottingham, UK.
- Battarbee, K. (2004). *Co-Experience. Understanding User Experience in Social Interaction*. Dissertation, University of Art and Design Helsinki. Helsinki, Finnland.
- Baum, L. F. (1995). *The wonderful wizard of Oz* (Penguin popular classics). London, England: Penguin.

- Bellem, H., Klüver, M., Schrauf, M. & Schöner, H.-P. (2017). Can We Study Autonomous Driving Comfort in Moving-Base Driving Simulators? A Validation Study. *Human Factors*, 59 (3), 442-456.
- Bellem, H., Schönenberg, T., Krems, J. F. & Schrauf, M. (2015). Was macht automatisiertes Fahren komfortabel? In *VDI AUTOREG 2015*. Baden-Baden.
- Bellem, H., Schönenberg, T., Krems, J. F. & Schrauf, M. (2016). Objective metrics of comfort: Developing a driving style for highly automated vehicles. *Transportation Research Part F*, 41, 45-54.
- Bellem, H., Thiel, B., Schrauf, M. & Krems, J. F. (2018). Comfort in automated driving: An analysis of preferences for different automated driving styles and their dependence on personality traits. *Transportation Research Part F*, 55, 90-100.
- Bengler, K., Omozik, K. & Müller, A. (2019). The Renaissance of Wizard of Oz (WoOz) – Using the WoOz methodology to prototype automated vehicles. In D. de Waard, A. Toffetti, L. Pietrantonio, T. Franke, J. F. Petiot, C. Dumas et al. (Hrsg.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2019 Annual Conference* .
- Bengler, K., Pütz, A., Purucker, C., Götze, M. & Färber, B. (2015). Das UR:BAN Assistenzszenario als Konstrukt für die Entwicklung und Bewertung integrierter Fahrerassistenzsysteme. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 69, 65-70.
- Benoit, K. & Wiesehomeier, N. (2009). Expert Judgments. In S. Pickel, D. Jahn, H.-J. Lauth & G. Pickel (Hrsg.), *Methoden der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft. Neue Entwicklungen und Anwendungen* (S. 497-516). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Biester, L. (2005). The Concept of Cooperative Automation in Cars: Results from the Experiment "Overtaking on Highways". In *Proceedings of the Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (S. 342-348). Maine, USA: University of Iowa.
- Blana, E. (1996). *Driving simulator validation studies: A literature review* (ITS Working Paper 480). : University of Leeds.
- Borojeni, S. S., Boll, S., Heuten, W., Bühlhoff, H. & Chuang, L. (2018). Feel the Movement: Real Motion Influences Responses to Take-over Requests in Highly Automated Vehicles. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. New York, USA: ACM.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (Springer-Lehrbuch, 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Breuer, J., Hugo, C. v., Mücke, S. & Tattersall, S. (2015). Nutzerorientierte Bewertungsverfahren von Fahrerassistenzsystemen. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (ATZ / MTZ-Fachbuch, 3. Aufl., S. 183-196). Springer Vieweg.

- Bruschetta, M. & Minen, D. (2018). Assisted and Autonomous Driving on Driving Simulators. Advanced features to make Dynamic Driving Simulators suitable for studies on Assisted and Autonomous Driving. In *19. VDI-Kongress SIMVEC - Simulation und Erprobung in der Fahrzeugentwicklung* (VDI-Berichte, Bd. 2333, S. 671-684). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Bubb, H. (2015a). Das Regelkreisparadigma der Ergonomie. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ / MTZ-Fachbuch, S. 27-65). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Bubb, H. (2015b). Einführung. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ / MTZ-Fachbuch, S. 1-25). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Bubb, H. (2015c). Methoden der ergonomischen Fahrzeugentwicklung. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ / MTZ-Fachbuch, S. 584-616). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Bubb, H. & Bengler, K. (2015). Fahrerassistenz. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ / MTZ-Fachbuch, S. 526-582). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Bubb, H., Bengler, K., Lange, C., Aringer-Walch, C. & Trübswetter, N. (2015). Messmethoden. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ / MTZ-Fachbuch, S. 618-662). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Bubb, H., Vollrath, M., Reinprecht, K., Mayer, E. & Körber, M. (2015). Der Mensch als Fahrer. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ / MTZ-Fachbuch, S. 67-162). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Büning, H. & Trenkler, G. (1994). *Nichtparametrische statistische Methoden* (De Gruyter Lehrbuch, 2. Aufl., 2. erw. u. völlig überarb. Auf.). Berlin: De Gruyter.
- Cabantous, L., Hilton, D., Kunreuther, H. & Michel-Kerjan, E. (2011). Is imprecise knowledge better than conflicting expertise? Evidence from insurers' decisions in the United States. *Journal of Risk and Uncertainty*, 42, 211-232.
- Caird, J. K. & Horrey, W. J. (2011). Twelve Practical and Useful Questions About Driving Simulation. In D. L. Fisher, M. Rizzo, J. K. Caird & J. D. Lee (Eds.), *Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology* (5:1 - 5:16). Boca Raton: CRC Press.
- California Department of Motor Vehicles. (2019). *Autonomous Vehicle Disengagement Reports 2018*, Sacramento, USA.
- Campbell, J. L., Brown, J. L., Graving, J. S., Richard, C. M., Lichty, M. G., Bacon, L. P. et al. (2018). *Human Factors Design Guidance for Level 2 And Level 3 Automated Driving Concepts. Report No. DOT HS 812 555*. Washington, USA: National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA).
- Carter, S. & Mankoff, J. (2005). *Momento: Early-Stage Prototyping and Evaluation for Mobile Applications*.
- Chi, M. T. H. (2006). Two Approaches to the Study of Experts' Characteristics. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovic & R. R. Hoffman (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (S. 21-30). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- Coren, M. J. (2018). *Hands Free. All the places self-driving cars are being tested around the world*, Quartz. Zugriff am 12.03.2019. Verfügbar unter <https://qz.com/1488576/self-driving-car-tests-around-the-world/>
- Cox, E. P. (1980). The Optimal Number of Response Alternatives for a Scale: A Review. *Journal of Marketing Research*, 17 (4), 407-422.
- Csikszentmihalyi, M. & Larson, R. (2014). Validity and reliability of the Experience-Sampling Method. In M. Csikszentmihalyi (Ed.), *Flow and the Foundations of Positive Psychology. The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi*. Dordrecht, Niederlande: Springer Netherlands.
- Dahlbäck, N., Jönsson, A. & Ahrenberg, L. (1993). Wizard of Oz studies — why and how. *Knowledge-Based Systems*, 6 (4), 258-266.
- Damböck, D. (2013). *Automationseffekte im Fahrzeug - von der Reaktion zur Übernahme*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- De Winter, J. C. F., van Leeuwen, P. M. & Happee, R. (2012). Advantages and Disadvantages of Driving Simulators: A Discussion. In *Measuring Behavior* (S. 47-50).
- Dietvorst, B. J., Simmons, J. P. & Massey, C. (2015). Algorithm Aversion: People Erroneously Avoid Algorithms after Seeing Them Err. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144 (1), 114-126.
- DIN EN ISO, 9241-11 (2018-11). *DIN Norm Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte (ISO 9241-11:2018)*.
- DIN EN ISO, 9241-210 (2011-01). *DIN Norm Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010)*.
- DIN EN ISO, 5492 (2009-07). *DIN Norm Sensorische Analyse – Vokabular (ISO 5492:2008)*.
- Distler, V., Lallemand, C. & Bellet, T. (2018). Acceptability and Acceptance of Autonomous Mobility on Demand: The Impact of an Immersive Experience. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. New York, USA: ACM.
- Doria, M. F., Boyd, E., Tompkins, E. L. & Adger, W. N. (2009). Using expert elicitation to define successful adaptation to climate change. *Environmental Science & Policy*, 12 (7), 810-819.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Aufl.). Berlin: Springer-Verlag.
- Dow, S., MacIntyre, B., Lee, J., Oezbek, C., Bolter, J. D. & Gandy, M. (2005). Wizard of Oz Support throughout an Iterative Design Process. *IEEE Pervasive Computing*, 4 (4), 18-26.
- Durso, F. T. & Dattel, A. R. (2006). Expertise and Transportation. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovic & R. R. Hoffman (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (S. 355-371). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Dutton, E. (2011). The Significance of British Columbia to the Origins of the Concept of “Culture Shock”. *BC Studies* (171), 113-119.

- Ehn, P. & Löwgren, J. (1994). Design for Quality-in-use: Human-Computer Interaction Meets Information Systems Development. In M. Helander (Ed.), *Handbook of human-computer interaction* (4th ed., 299-314). Amsterdam: North-Holland.
- Elbanhawi, M., Simic, M. & Jazar, R. (2015). In the Passenger Seat: Investigating Ride Comfort Measures in Autonomous Cars. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 7 (3), 4-17.
- Ericsson, K. A., Charness, N., Feltovic, P. J. & Hoffman, R. R. (Hrsg.). (2006). *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Faulkner, W., Fleck, J. & Williams, R. (1998). Exploring Expertise. Issues and Perspectives. In R. Williams, W. Faulkner & J. Fleck (Hrsg.), *Exploring expertise. Issues and perspectives* (S. 1-28). Basingstoke, England: Macmillan.
- Faust, D. & Ziskin, J. (1988). The expert witness in psychology and psychiatry. *Science*, 241 (4861), 31-35.
- Feigenbaum, B. (2018). *Autonomous Vehicles: a Guide for Policymakers* (Reason Foundation, Hrsg.). Zugriff am 01.12.2020. Verfügbar unter <https://reason.org/wp-content/uploads/2018/03/autonomous-vehicles-guide-for-policymakers.pdf>
- Feldhütter, A., Hecht, T. & Bengler, K. (2018). *Fahrerspezifische Aspekte beim hochautomatisierten Fahren*. Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.0628/2015 (FAT-Schriftenreihe Nr. 307). : VDA.
- Ferrell, W. R. (1994). Discrete subjective probabilities and decision analysis: Elicitation, calibration and combination. In G. Wright & P. Ayton (Eds.), *Subjective probability* (pp. 411-451). Oxford, England: John Wiley & Sons.
- Festner, M. (2019). *Objektivierte Bewertung des Fahrstils auf Basis der Komfortwahrnehmung bei hochautomatisiertem Fahren in Abhängigkeit fahrfremder Tätigkeiten*. Grundlegende Zusammenhänge zur komfortorientierten Auslegung eines hochautomatisierten Fahrstils. Dissertation, Universität Duisburg-Essen. Duisburg.
- Festner, M., Baumann, H. & Schramm, D. H. (2016). Der Einfluss fahrfremder Tätigkeiten und Manöverlängendynamik auf die Komfort- und Sicherheitswahrnehmung beim hochautomatisierten Fahren. In 32. VDI/VW-Gemeinschaftstagung Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren .
- Festner, M., Eicher, A. & Schramm, D. H. (2017). Beeinflussung der Komfort- und Sicherheitswahrnehmung beim hochautomatisierten Fahren durch fahrfremde Tätigkeiten und Spurwechseldynamik. In *Uni-DAS 11. Workshop Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren* (S. 63-73).
- Festner, M., Schmidt, K., Omozik, K. & Schramm, D. H. (im Druck). Comfort perception of a highly automated driving style in real traffic depending on non-driving related activities. *Transportation Research Part F*.
- Fischhoff, B. (1981). *Debiasing*. Eugene, USA: Decision Research.
- Fisher, D. L., Rizzo, M., Caird, J. K. & Lee, J. D. (Eds.). (2011). *Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology*. Boca Raton: CRC Press.

- Flemisch, F. O., Nashashibi, F., Rauch, N., Schieben, A., Glaser, S., Temme, G. et al. (2010). Towards Highly Automated Driving: Intermediate report on the HAVEit-Joint System. In *3rd European Road Transport Research Arena*. Brussels, Belgien.
- Forster, Y. (2020). *Preference versus Performance in Automated Driving: A Challenge for Method Development*. Dissertation, Technische Universität Chemnitz. Chemnitz.
- Forster, Y., Hergeth, S., Naujoks, F., Beggiano, M. & Krems, J. F. (2019). Learning to use automation: Behavioral changes in interaction with automated driving systems. *Transportation Research Part F*, 62, 599-614.
- Frenzel, L. (2018). *7 Factors Critical to the Success of Self-Driving Cars*, Innovation Destination: Automotive. Zugriff am 12.12.2018. Verfügbar unter <https://innovation-destination.com/2018/02/16/7-factors-critical-success-self-driving-cars/>
- Fripp, G. (2017). *Customer Satisfaction. Why most customers are just satisfied*. Zugriff am 01.12.2019. Verfügbar unter <https://www.marketingstudyguide.com/why-most-customers-are-just-satisfied/>
- Frison, A.-K. (2020). *The DAUX Framework: A Need-Centered Development Approach for User Experience in Driving Automation*. Dissertation, Johannes Kepler Universität. Linz, Österreich.
- Frison, A.-K., Pfleging, B., Riener, A., Jeon, M. P., Alvarez, I. & Ju, W. (2017). Workshop on User-Centered Design for Automated Driving Systems. In *AutomotiveUI 2017* (S. 22-27). Oldenburg: ACM.
- Frison, A.-K., Wintersberger, P., Liu, T. & Riener, A. (2019). Why Do You Like To Drive Automated? A Context-Dependent Analysis of Highly Automated Driving to Elaborate Requirements for Intelligent User Interfaces. In *24th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '19)*. New York, USA: ACM.
- Frühbeis, X. (2013). *Hans - ein rechnendes Pferd wird enttarnt*, Bayerischer Rundfunk. Verfügbar unter <https://www.br.de/radio/bayern2/sendungen/kalenderblatt/0912-esel-kluger-hans-effekt-rechnen-100.html>
- Fuest, T., Michalowski, L., Träris, L., Bellem, H. & Bengler, K. (2018). Using the Driving Behavior of an Automated Vehicle to Communicate Intentions – A Wizard of Oz Study. In *IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Hawaii, USA: IEEE.
- Galaske, P. (2017). *Einfluss von Expertise auf die Kritikalitätswahrnehmung in kritischen Fahrsituationen von Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- Gläser, J. & Laudel, G. (2010). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse. als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen* (Lehrbuch, 4. Aufl.): VS Verlag.
- Gobet, F. & Charness, N. (2006). Expertise in Chess. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovic & R. R. Hoffman (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (S. 523-538). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Gold, C., Meyer, M.-L. & Fischer, F. (2018). Übernahmeleistung in einem Wizard of Oz Versuchsträger beim hochautomatisierten Fahren. In K. Kompaß (Hrsg.), *Aktive Sicherheit und automatisiertes*

- Fahren. 3. interdisziplinärer Expertendialog (IEDAS)* (Band 146, Bd. 146, S. 187-199). Renningen: expert verlag.
- Griesche, S., Nicolay, E., Assmann, D., Dotzauer, M. & Käthner, D. (2016). Should my car drive as I do? What kind of driving style do drivers prefer for the design of automated driving functions? In *17. Braunschweiger Symposium Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel (AAET)* (S. 185-204). ITS automotive nord e.V.
- Gundlach, H. (2006). Carl Stumpf, Oskar Pfungst, der Kluge Hans und eine geglückte Vernebelungsaktion. *Psychologische Rundschau*, 57 (2), 96-105.
- Habibovic, A., Andersson, J., Nilsson, M., Malmsten Lundgren, V. & Nilsson, J. (2016). Evaluating interactions with non-existing automated vehicles: three Wizard of Oz approaches. In *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (S. 32-37). Gothenburg, Sweden: IEEE.
- Hakuli, S. & Krug, M. (2015). Virtuelle Integration. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (ATZ / MTZ-Fachbuch, 3. Aufl., S. 126-139). Springer Vieweg.
- Hartfiel, B., Tomaszek-Staude, W., Buchholz, C., Fresemann, C. & Stark, R. (2018). Use Case orientierte Gestaltungsempfehlungen für Fahrsimulatoren zur menschenzentrierten Absicherung von Sicherheits- und Komfortfunktionen. In *19. VDI-Kongress SIMVEC - Simulation und Erprobung in der Fahrzeugentwicklung* (VDI-Berichte, Bd. 2333, S. 655-669). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Hartson, R. & Pyla, P. (2012). *The UX Book*: Elsevier Science.
- Hassenzahl, M. (2010). *Experience design. Technology for all the right reasons* (Synthesis lectures on human-centered informatics, Bd. 8). San Rafael: Morgan & Claypool Publishers.
- Hassenzahl, M., Burmester, M. & Koller, F. (2003). AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In J. Ziegler & G. Szwillus (Hrsg.), *Mensch & Computer 2003. Interaktion in Bewegung* (Berichte des German Chapter of the ACM, Bd. 57, S. 187-196). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Hassenzahl, M., Eckoldt, K. & Thielsch, M. T. (2009). User Experience und Experience Design – Konzepte und Herausforderungen. In H. Brau (Hrsg.), *Usability Professionals 2009. Berichtband des siebten Workshops des German Chapters der Usability Professionals Association e.V.* (S. 233-237). Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Hassenzahl, M. & Tractinsky, N. (2006). User experience – a research agenda. *Behaviour & Information Technology*, 25 (2), 91-97.
- Hektner, J. M., Schmidt, J. A. & Csikszentmihalyi, M. (2007). *Experience sampling method. Measuring the quality of everyday life*. Thousand Oaks, USA: Sage Publ.
- Himmels, C., Omozik, K., Jarosch, O. & Buchner, A. (2021). Measuring user experience in automated driving: Developing a single-item measure. In *AutomotiveUI 2021* (S. 191-200).
- Hoffman, G. & Ju, W. (2014). Designing Robots With Movement in Mind. *Journal of Human-Robot Interaction*, 3 (1), 91-122.

- Hoffman, R. R. (1998). How Can Expertise be Defined? Implications of Research from Cognitive Psychology. In R. Williams, W. Faulkner & J. Fleck (Hrsg.), *Exploring expertise. Issues and perspectives* (S. 81-100). Basingstoke, England: Macmillan.
- Homans, H., Radlmayr, J. & Bengler, K. (2019). Levels of Driving Automation from a User's Perspective: How Are the Levels Represented in the User's Mental Model? In T. Ahram, R. Tairar & S. Colson (Hrsg.), *Human Interaction and Emerging Technologies. Proceedings of the 1st International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies (IHJET 2019)* (S. 21-27).
- Hu, J. C. (2018). *Way Mo Miles. Waymo's driverless cars have logged 10 million miles on public roads*, Quartz. Zugriff am 12.03.2019. Verfügbar unter <https://qz.com/1419747/waymos-self-driving-cars-have-logged-10-million-miles/>
- Jamson, H. (2011). Cross-Platform Validation Issues. In D. L. Fisher, M. Rizzo, J. K. Caird & J. D. Lee (Eds.), *Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology*. Boca Raton: CRC Press.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort* (Prentice Hall series in experimental psychology). Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Kahneman, D. & Klein, G. (2009). Conditions for Intuitive Expertise. A Failure to Disagree. *American Psychologist*, 64 (6), 515-526.
- Kahneman, D. & Riis, J. (2005). Living, and thinking about it: two perspectives on life. In F. A. Huppert, N. Baylis & B. Keverne (Eds.), *The science of well-being* (pp. 285-301). Oxford: Oxford University Press.
- Karapanos, E., Hassenzahl, M. & Martens, J.-B. (2008). User Experience Over Time. In M. Czerwinski (Hrsg.), *CHI '08* (S. 3561-3566). New York, USA: ACM.
- Keeney, R. L. & Winterfeldt, D. von. (1989). On the Uses of Expert Judgment on Complex Technical Problems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 36 (2), 83-86.
- Keeney, R. L. & Winterfeldt, D. von. (1991). Eliciting Probabilities from Experts in Complex Technical Problems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 38 (3), 191-201.
- Kelley, J. F. (1984). An Iterative Design Methodology for User-Friendly Natural Language Information Applications. *ACM Transactions on Information Systems*, 2 (1), 26-41.
- Kemeny, A. & Panerai, F. (2003). Evaluating perception in driving simulation. *Trends in Cognitive Sciences*, 7 (1), 31-37.
- Klüver, M. (2016). *Can We Trust Driving Simulator Studies? The Behavioral Validity of the Daimler AG Driving Simulators*. Dissertation, Johannes Gutenberg Universität Mainz. Mainz.
- Knobel, M. (2013). *Experience Design in the Automotive Context*. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München. München.
- Körber, M. (2018). *Individual Differences in Human-Automation Interaction: A Driver-Centered Perspective on the Introduction of Automated Vehicles*. Dissertation, Technische Universität München. München.

- Körber, M. & Bengler, K. (2013a). Measurement Of Momentary User Experience In An Automotive Context. In *AutomotiveUI '13* (S. 13-18). New York, USA: ACM.
- Körber, M. & Bengler, K. (2013b). Zur Validität eines User Experience-Fragebogens zur Messung der Bedürfniserfüllung in Produktinteraktionen. In E. Brandenburg, L. Doria, A. Gross, T. Günzler & H. Smieszek (Hrsg.), *Grundlagen und Anwendungen der Mensch-Maschine-Interaktion. 10. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (S. 37-43). Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin.
- Körber, M., Eichinger, A., Bengler, K. & Olaverri-Monreal, C. (2013). User Experience Evaluation in an Automotive Context. In *2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium workshops (IV workshops)* (S. 13-18). Piscataway, USA: IEEE.
- Kovic, M. (2020). *Rationalität in der Praxis. Definitionen, Herausforderungen, Optimierungsstrategien* (ars cognitionis. the art of decision-making, Hrsg.).
- Krupka, M. C., Peaslee, A. T. & Laquer, H. L. (1983). *Gaseous fuel safety assessment for light-duty automotive vehicles* (LA-9829-MS). New Mexiko, USA: Los Alamos National Lab.
- Lange, A., Maas, M., Albert, M., Siedersberger, K. H. & Bengler, K. (2014). Automatisiertes Fahren - So komfortabel wie möglich, so dynamisch wie nötig. Vestibuläre Zustandsrückmeldung beim automatisierten Fahren. In VDI (Hrsg.), *30. VDI/VW Gemeinschaftstagung Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit 2014* (S. 215-228). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Larson, R. & Csikszentmihalyi, M. (2014). The Experience Sampling Method. In *Flow and the Foundations of Positive Psychology: The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi* (S. 21-34). Springer Netherlands.
- Lavie, N. (2010). Attention, Distraction, and Cognitive Control Under Load. *Current Directions in Psychological Science*, 19 (3), 143-148.
- Law, E. (2011). The Measurability and Predictability of User Experience. In *Proceedings of the 3rd ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems (EICS '11)* (S. 1-10). New York, USA: ACM.
- Lienkamp, M. & Diermeyer, F. (2019). *Vorlesungsskript Fahrzeugkonzepte: Entwicklung und Simulation*, München. Zugriff am 28.11.2019.
- Lindberg, T. (2011). *Entwicklung einer ABK-Metapher für gruppierte Fahrerassistenzsysteme*. Dissertation, Technische Universität Berlin. Berlin.
- Mack, A. & Rock, I. (2000). *Inattentional blindness* (A Bradford book). Cambridge, USA: MIT Press.
- Marberger, C., Korthauer, A., Manstetten, D., Naujoks, F., Wiedemann, K. & Purucker, C. (2017). Hochautomatisiertes Fahren im öffentlichen Verkehr – Erste Ergebnisse einer Realfahrzeugstudie zur Bewertung der User Experience sowie der Fahrleistung in Übernahmesituationen. In *8. Tagung Fahrerassistenz*. München.
- McCall, R., McGee, F., Meschtscherjakov, A., Louveton, N. & Engel, T. (2016). Towards A Taxonomy of Autonomous Vehicle Handover Situations. In *AutomotiveUI 2016* (S. 193-200). Ann Arbor, USA.

- Meyer, M. A. & Booker, J. M. (2001). *Eliciting and analyzing expert judgment. A practical guide* (ASA-SIAM series on statistics and applied probability, Bd. 7). Philadelphia, PA.
- Mok, B., Sirkin, D., Sibi, S., Miller, D. B. & Ju, W. (2017). Understanding Driver-Automated Vehicle Interactions Through Wizard of Oz Design Improvisation. In *Proceedings of the Eighth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (S. 380-386). Manchester Village, USA.
- Morgan, M. G. (2014). Use (and abuse) of expert elicitation in support of decision making for public policy. *National Academy of Sciences*, 111 (20), 7176-7184.
- Mosebach, H., Schomerus, J., Baumann, M. & Noyer, U. (2008). *Methodische und technische Aspekte einer Naturalistic Driving Study*. BASt FE 82.0351/2008 (FAT-Schriftenreihe Nr. 229).
- Muehlbacher, D., Engelhardt, S., Forster, Y. & Rademacher, J. (2018). New ways for roadway design - Using driving simulation to restructure the Finkenwerder Ring in the Port of Hamburg aiming at enhanced traffic safety and reliability. In *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018*.
- Müller, A., Weinbeer, V. & Bengler, K. (2019). Using the wizard of Oz paradigm to prototype automated vehicles: methodological challenges. In *AutomotiveUI '19: 11th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 181-186). New York, New York: The Association for Computing Machinery.
- Müller, T. A. (2015). *Ermittlung vestibulärer Wahrnehmungsschwellen zur zielgerichteten Gestaltung der Fahrzeug-Längsdynamik*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- Naujoks, F., Hergeth, S., Keinath, A., Wiedemann, K. & Schömig, N. (2019). Development and application of an expert based assessment for evaluating the usability of SAE Level 3 ADS HMIs. In *ESV Conference 2019*.
- Naujoks, F., Wiedemann, K., Schömig, N., Jarosch, O. & Gold, C. (2018). Expert-based controllability assessment of control transitions from automated to manual driving. *MethodsX*, 5, 579-592.
- Negele, H. J. (2007). *Anwendungsgerechte Konzipierung von Fahrsimulatoren für die Fahrzeugentwicklung*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- NHTSA. (2012). *Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines for In-Vehicle Electronic Devices*. Docket No. NHTSA-2010-0053. : National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA).
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. London, England: Morgan Kaufmann.
- Norman, G., Eva, K., Brooks, L. & Hamstra, S. (2006). Expertise in Medicine and Surgery. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovic & R. R. Hoffman (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (S. 339-353). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- O'Hagan, A., Buck, C. E., Daneshkhah, A., Eiser, J. R., Garthwaite, P. H., Jenkinson, D. J. et al. (2006). *Uncertain Judgements. Eliciting Experts' Probabilities* (Statistics in practice). Chichester, England: John Wiley & Sons.

- Omozik, K., Kuntermann, I., Forster, Y., Venrooij, J. & Bengler, K. (im Druck). How to compare Wizard-of-Oz and Driving Simulator. Differences in user experience during conditional automated driving. *Human Factors*.
- Omozik, K., Yang, Y., Kuntermann, I., Hergeth, S. & Bengler, K. (2019). How long does it take to relax? Observation of driver behavior during real-world conditionally automated driving. In *Proceedings of the Tenth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (S. 245-251).
- Ortiz, N. R., Wheeler, T. A., Breeding, R. J., Hora, S., Meyer, M. A. & Keeney, R. L. (1991). Use of expert judgment in NUREG-1150. *Nuclear Engineering and Design*, 126 (3), 313-331.
- Parasuraman, R. & Riley, V. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. *Human Factors*, 39 (2), 230-253.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B. & Wickens, C. D. (2000). A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 30 (3), 286-297.
- Petermann, I. & Schlag, B. (2010). Auswirkungen der Synthese von Assistenz und Automation auf das Fahrer-Fahrzeug-System. In *AAET - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel* (S. 383-403). Braunschweig: ITS Niedersachsen.
- Pettersson, I., Frison, A.-K., Lachner, F., Riener, A. & Nollhage, J. (2017). Triangulation in UX Studies: Learning from Experience. In *Proceedings of the 2017 ACM Conference Companion Publication on Designing Interactive Systems* (S. 341-344).
- Radlmayr, J., Feldhütter, A., Frey, A., Jarosch, O., Marberger, C., Naujoks, F. et al. (2018). Drowsiness and fatigue in conditionally automated driving – Towards an integrative framework. In *HFES Europe Chapter Annual Meeting*. Berlin.
- Richter, M. & Flückiger, M. (2016). *Usability und UX kompakt. Produkte für Menschen* (IT kompakt, 4. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Rosengren, L. G. (1995). Driver assistance and co-operative driving. In ERTICO (Hrsg.), *Proceedings of the First World Congress on Advanced Transport Telematics and Intelligent Vehicle Highway Systems* (S. 1613-1622). London, England.
- Rossi, S. H., Blick, C., Nathan, P., Nicol, D., Stewart, G. D. & Wilson, E. C. F. (2019). Expert Elicitation to Inform a Cost-Effectiveness Analysis of Screening for Renal Cancer. *Value in Health*, 22 (9), 981-987.
- Roßner, P., Bernhagen, M. & Bullinger, A. C. (2020). Simulieren was selten geschieht. Nutzerzentrierte Entwicklung mobiler Simulatoren für komplexe maritime Großschadenslagen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*.
- Roto, V., Law, E., Vermeeren, A. & Hoonhout, J. (2011). *User Experience White Paper. Bringing clarity to the concept of user experience*, Dagstuhl Seminar. Zugriff am 07.09.2016. Verfügbar unter <http://www.allaboutux.org/files/UX-WhitePaper.pdf>

- Sacher, H. (2008). *Gesamtheitliche Analyse des Bedienverhaltens von Fahrzeugfunktionen in der täglichen Nutzung*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- SAE International. (2018a). *J3016. Levels of Driving Automation*.
- SAE International. (2018b). *Levels of Driving Automation*. Zugriff am 01.01.2019. Verfügbar unter www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles
- Salber, D. & Coutaz, J. (1993). Applying the Wizard of Oz Technique to the Study of Multimodal Systems. In *Human-Computer Interaction. Third International Conference* (S. 219-230).
- 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. In *7. Tagung Fahrerassistenz*. München: TÜV Süd.
- Schieben, A., Heesen, M., Schindler, J., Kelsch, J. & Flemisch, F. O. (2009). The theater-system technique: agile designing and testing of system behavior and interaction, applied to highly automated vehicles. In *AutomotiveUI 2009* (S. 43-46). New York, USA: ACM.
- Schlütz, D. & Scherer, H. (2001). Der Einsatz der 'Experience Sampling Method' in der Medienwissenschaft. *Zeitschrift für Medienpsychologie*, 13 (3), 146-149.
- Schmid, J. (2018). *Mensch-Maschine-Interaktion: Die Veränderung Mentaler Modelle beim Hochautomatisierten Fahren*. Masterarbeit, Ludwig-Maximilians-Universität München. München.
- Schmidt, G., Kiss, M., Babel, E. & Galla, A. (2008). The wizard on wheels: Rapid prototyping and user testing of future driver assistance using the wizard of oz technique in a vehicle. In FISITA (Hrsg.), *Proceedings of the FISITA 2008 - The future of automobiles and mobility*.
- Schmidt, K. (2017). *Komfortwahrnehmung beim hochautomatisierten Fahren in Abhängigkeit der fahrfremden Tätigkeit. Wie will ein Fahrer automatisiert gefahren werden?* Masterarbeit, Technische Universität München. München.
- Schomerus, J., Flemisch, F. O., Kelsch, J., Schieben, A. & Schmunzsch, U. (2006). Erwartungsbasierte Gestaltung mit der Theatersystem- / Wizard-Of-Oz-Technik am Beispiel eines haptischen Assistenzsystems. In *Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel. AAET 2006* (S. 209-225). Braunschweig: GZVB.
- Schömig, N., Befelein, D., Wiedemann, K. & Neukum, A. (2020). *Methodische Aspekte und aktuelle inhaltliche Schwerpunkte bei der Konzeption experimenteller Studien zum hochautomatisierten Fahren* (FAT-Schriftenreihe Nr. 324).
- Schöner, H.-P. (2014). Erprobung und Absicherung im dynamischen Fahrsimulator. In *17. VDI-Kongress SIMVEC - Simulation und Erprobung in der Fahrzeugentwicklung. Berechnung, Prüfstands- und Straßenversuch* (S. 835-846). VDI Verlag GmbH.
- Schreiber, M. (2012). *Konzeptionierung und Evaluierung eines Ansatzes zu einer manöverbasierten Fahrzeugführung im Nutzungskontext Autobahnfahrten*. Dissertation, Technische Universität Darmstadt. Darmstadt.

- Seiniger, P. & Weitzel, A. (2015). Testverfahren für Verbraucherschutz und Gesetzgebung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (ATZ / MTZ-Fachbuch, 3. Aufl., S. 167-182). Springer Vieweg.
- Simola, K., Mengolini, A. M. & Bolado-Lavin, R. (2005). *Formal Expert Judgement: An Overview*. : European Commission, Directorate General Joint Research Centre (DG JRC), Institute for Energy.
- Spiessl, W. & Hussmann, H. (2011). Assessing error recognition in automated driving. *IET Intelligent Transport System*, 5 (2), 103-111.
- Stiller, M. (2016). Absicherung von Systemen für das (hoch)automatisierte Fahren. In *6. AutoTest Fachkonferenz*. Stuttgart.
- Strasser, B. (2012). *Vernetzung von Test- und Simulationsmethoden für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- Templeton, B. (2017). *A Critique of NHTSA and SAE "Levels" of self-driving*. Verfügbar unter <https://www.templetons.com/brad/robocars/levels.html>
- Tscheligi, M. (2012). User Experience Design for Vehicles. In *AutomotiveUI 2012*. New York, USA: ACM.
- Ulherr, A., Hasselmann, K., Kuhn, K. & Bengler, K. (2015). The Effect of Secondary Tasks on Perceived Seating Discomfort. In *Proceedings of the 19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2015)*. Melbourne, Australien.
- Van Huysduynen, H. H., Terken, J. & Eggen, B. (2018). Why Disable the Autopilot? In *AutomotiveUI 2018* (S. 247-257). ACM.
- VDI, 2206 (2004). *VDI 2206 - Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*: Beuth Verlag.
- Vollrath, M. (2015a). *Ingenieurpsychologie. Psychologische Grundlagen und Anwendungsgebiete* (Grundriss der Psychologie, Bd. 30). s.l.: W. Kohlhammer Verlag.
- Vollrath, M. (2015b). Statistische Methoden. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ / MTZ-Fachbuch, S. 664-684). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Voss, J. F. & Wiley, J. (2006). Expertise in History. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovic & R. R. Hoffman (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (S. 569-584). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Wachenfeld, W. & Winner, H. (2015). Die Freigabe des autonomen Fahrens. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte* (S. 440-464). Berlin: Springer-Verlag.
- Wang, P., Sibi, S., Mok, B. & Ju, W. (2017). Marionette: Enabling On-Road Wizard-of-Oz Autonomous Driving Studies. In *IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)* (S. 234-243). Wien, Österreich.

- Weinbeer, V., Baur, C., Radlmayr, J., Bill, J. S., Muhr, T. & Bengler, K. (2017). Highly automated driving: How to get the driver drowsy and how does drowsiness influence various take-over aspects? In *8. Tagung Fahrerassistenz*. München.
- Weinbeer, V., Muhr, T. & Bengler, K. (2019). Automated Driving: The Potential of Non-driving-Related Tasks to Manage Driver Drowsiness. In *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (S. 179-188).
- Weißgerber, T. (2015). *Konzepte und Methoden des User Centred Design. Im Kontext von User Experience Engineering und moderner Softwareentwicklung*, Freie Universität Berlin. Berlin. Zugriff am 28.11.2020. Verfügbar unter http://www.inf.fu-berlin.de/inst/ag-se/teaching/S-BSE/326_weissgerber_UCD.pdf
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical issues in ergonomics science*, 3 (2), 159-177.
- Wiener, E. L. (1989). *Human Factors of Advanced Technology (Glass Cockpit.)* (NASA-CR-177528). Coral Gables, USA: NASA.
- Winkle, T. (2015). Sicherheitspotenzial automatisierter Fahrzeuge: Erkenntnisse aus der Unfallforschung. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte* (S. 351-376). Berlin: Springer-Verlag.
- Winner, H. & Wachenfeld, W. (2013). Absicherung automatischen Fahrens. In *6. Tagung Fahrerassistenz*. München.
- Zhao, D. (2016). *Accelerated Evaluation of Automated Vehicles*. Dissertation, University of Michigan. Michigan.

7. Thematisch relevante betreute Abschlussarbeiten

- Baumgartner, Sebastian (2017).** Automatisierte Datenauswertung für eine subjektive Bewertung von Fahrerassistenzsystemen. Bachelorarbeit. Hochschule Esslingen.
- Furtner, Christian (2017).** Automatisierte Fahrszenenerkennung zur subjektiven Bewertung. Bachelorarbeit. Hochschule Landshut.
- Korkmaz, Aykut (2017).** Optimierung von Fahrerassistenzsystemen. Bachelorarbeit. Hochschule München.
- Kosel, Stefanie (2017).** Vertrauen und Akzeptanz bei automatisierten Fahrfunktionen: Der Einfluss dargebotener Informationen zur Fahrt. Masterarbeit. Technische Universität München.
- Ge, Yuqiu (2018).** Improving Usability of an Assessment Tool by Introducing Voice Interaction. Masterarbeit. Universität Ulm.
- Schmid, Jennifer (2018).** Mensch-Maschine-Interaktion: Die Veränderung Mentaler Modelle bei Hochautomatisierten Fahren. Masterarbeit. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Suchan, Susanna (2018).** Nutzung kurzer HAF-Verfügbarkeiten und ihre Auswirkungen auf Vertrauen und Akzeptanz. Masterarbeit. Ludwig-Maximilians-Universität München.

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Entwicklungsprozess von Fahrerassistenzsystemen nach Schmidt, G., Kiss, Babel und Galla (2008)	8
Abbildung 1-2: Klassifizierung nach Autonomiestufen (SAE International, 2018a)	10
Abbildung 1-3: Paradigmenwechsel im Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis – angelehnt an Bubb (2015a) und Körber (2018).....	11
Abbildung 2-1: Modell zur Absicherung von automatisierten Fahrfunktionen nach Stiller (2016)	15
Abbildung 2-2: Absicherungsmethodiken für automatisierte Fahrfunktionen in Anlehnung an Gold, Meyer und Fischer (2018)	16
Abbildung 2-3: Theatersystem zur Simulation von automatisierten Fahrfunktionen (Schieben, Heesen, Schindler, Kelsch & Flemisch, 2009)	21
Abbildung 2-4: schematische Darstellung des Wizard-of-Oz-Aufbau von Schmidt, G. et al. (2008)	22
Abbildung 2-5: Wizard-of-Oz-Versuchsträger (Petermann & Schlag, 2010; Schmidt, G. et al., 2008) ..	22
Abbildung 2-6: Schematische Darstellung des Wizard-of-Oz-Konzeptes nach Baltodano et al. (2015) ..	22
Abbildung 2-7: Wizard-of-Oz-Versuchsaufbau von Baltodano, Sibi, Martelaro, Gowda und Ju (2015) ..	23
Abbildung 2-8: Marionetten-Konzept von Wang et al. (2017)	23
Abbildung 2-9: Schematische Skizze des Marionetten-Konzepts von Wang, Sibi, Mok und Ju (2017) ..	24
Abbildung 2-10: Wizard-of-Oz-Versuchsträger von Marberger et al. (2017)	24
Abbildung 2-11: Wizard-of-Oz-Versuchsträger von Weinbeer et al. (2017; 2019).....	25
Abbildung 2-12: Wizard-of-Oz-Aufbau nach Gold, Meyer und Fischer (2018)	26
Abbildung 2-13: Schematische Darstellung des Wizard-of-Oz-Konzeptes „Fond“	32
Abbildung 2-14: Fond und Vorderraum im Wizard-of-Oz-Versuchsträger (Gold, Meyer & Fischer, 2018)	33
Abbildung 2-15: Tablet für Versuchsleiter / Interaktionswizard	35
Abbildung 2-16: Anzahl der Suchergebnisse im Rahmen von Fahrsimulator-Publikationen (Klüver, 2016)	36
Abbildung 2-17: Dynamischer Fahrsimulator der BMW Group (VISCON GmbH, 2019)	37
Abbildung 3-1: Zeitspannen der Produktnutzung nach Roto, Law, Vermeeren und Hoonhout (2011) ..	42

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3-2: Zusammenfassung der Einflussfaktoren nach Roto, Law, Vermeeren und Hoonhout (2011)	44
Abbildung 3-3: Vier Quellen der Diversität im Nutzererlebnis nach Karapanos, Hassenzahl und Martens (2008)	45
Abbildung 4-1: Schnittstelle des Versuchsleitertablet für Multiwizard-Ansatz	64
Abbildung 4-2: Fahrfremde Tätigkeiten "Video ansehen" links und "Tetris spielen" rechts im Bild	65
Abbildung 4-3: Oberfläche für fahrmanöverbasierte Bewertung	67
Abbildung 4-4: Eingewöhnungsfahrt	67
Abbildung 4-5: Versuchsstrecke	68
Abbildung 4-6: Versuchsablauf der Studie 1 nach Schmidt, K. (2017)	69
Abbildung 4-7: Anteil der wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver in Abhängigkeit von der fahrfremden Tätigkeit	73
Abbildung 4-8: Subjektive Bewertung der Beschleunigung der automatisierten Fahrmanöver in Abhängigkeit der fahrfremden Tätigkeiten	74
Abbildung 4-9: Subjektive Bewertung des Abstandes der automatisierten Fahrmanöver in Abhängigkeit der fahrfremden Tätigkeiten	74
Abbildung 4-10: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für negatives Nutzererlebnis ...	75
Abbildung 4-11: Tablet für Versuchsleiter	81
Abbildung 4-12: Eingewöhnungsfahrt mit manuellen (orange) und automatisierten (blau) Teilabschnitten	84
Abbildung 4-13: Versuchsstrecke	85
Abbildung 4-14: Fahrfremde Tätigkeiten der Studie 2: Freie Auswahl auf der Hinfahrt (links und mittig) sowie Quiz spielen auf der Rückfahrt (rechts)	86
Abbildung 4-15: Versuchsablauf der Studie 2	86
Abbildung 4-16: Anteil der wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise	91
Abbildung 4-17: Anteil der wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise	91
Abbildung 4-18: Subjektive Bewertung des Nutzerlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise	92
Abbildung 4-19: Subjektive Bewertung des Nutzerlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise	92
Abbildung 4-20: Subjektive Bewertung des automatisierten Fahrmanövers <i>Fahrstreifenwechsel 3</i> (mit Folgefahrzeug) während der Hin- und Rückfahrt	94

Abbildung 4-21: Subjektive Bewertung des automatisierten Fahrmanövers <i>Folgefahrt 2</i> (mit vorbeifahrender Kolonne) während Hin- und Rückfahrt	95
Abbildung 4-22: Subjektive Bewertung des automatisierten Fahrmanövers reduzierte Geschwindigkeit während Hin- und Rückfahrt.....	95
Abbildung 4-23: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für positives Nutzererlebnis in Abhängigkeit der Nutzerexpertise.....	96
Abbildung 4-24: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für negatives Nutzererlebnis in Abhängigkeit der Nutzerexpertise.....	97
Abbildung 4-25: Fahrzeugmodell und Projektion im dynamischen Fahrsimulator	104
Abbildung 4-26: Eingewöhnungsfahrt mit manuellen (orange) und automatisierten Teilabschnitten (blau)	105
Abbildung 4-27: Versuchsstrecke mit Baustelle (orange) und automatisierten Teilabschnitten (blau) .	105
Abbildung 4-28: Versuchsablauf der Studie 3	106
Abbildung 4-29: Anteil der wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise	109
Abbildung 4-30: Anteil der wahrgenommenen automatisierten Fahrmanöver während der Rückfahrt (Quizi spielen) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise	109
Abbildung 4-31: Subjektive Bewertung des Nutzerlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise	110
Abbildung 4-32: Subjektive Bewertung des Nutzerlebnisses bei automatisierten Fahrmanövern während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Nutzerexpertise	111
Abbildung 4-33: Subjektive Bewertung des automatisierten Fahrmanövers Fahrstreifenwechsel 3 (mit Folgefahrzeug) während der Hin- und Rückfahrt	113
Abbildung 4-34: Subjektive Abschlussbewertungen der gesamten Fahrt in Abhängigkeit der Nutzerexpertise.....	114
Abbildung 4-35: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für positives Nutzererlebnis in Abhängigkeit der Nutzerexpertise.....	115
Abbildung 4-36: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für negatives Nutzererlebnis in Abhängigkeit der Nutzerexpertise.....	115
Abbildung 4-37: Anteil der durch Laien wahrgenommen automatisierten Fahrmanöver während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung.....	119
Abbildung 4-38: Anteil der durch Laien wahrgenommen automatisierten Fahrmanöver während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung.....	119
Abbildung 4-39: Anteil der durch Experten wahrgenommen automatisierten Fahrmanöver während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung.....	120

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 4-40: Anteil der durch Experten wahrgenommen automatisierten Fahrmanöver während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung.....	120
Abbildung 4-41: Subjektive Bewertung der automatisierte Fahrmanöver durch Laien während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung.....	121
Abbildung 4-42: Subjektive Bewertung der automatisierte Fahrmanöver durch Laien während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung.....	122
Abbildung 4-43: Subjektive Bewertung der automatisierte Fahrmanöver durch Experten während der Hinfahrt (freie Wahl der Tätigkeit) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung.....	122
Abbildung 4-44: Subjektive Bewertung der automatisierte Fahrmanöver durch Experten während der Rückfahrt (Quiz spielen) in Abhängigkeit der Versuchsumgebung.....	123
Abbildung 4-45: Subjektive Bewertung des Gefühls <i>Andere aufzuhalten</i> in Abhängigkeit der Versuchsumgebung und Expertise	124
Abbildung 4-46: Subjektive Bewertung des Gefühls <i>zügig voranzukommen</i> in Abhängigkeit der Versuchsumgebung und Expertise	125
Abbildung 4-47: Subjektive Abschlussbewertungen der gesamten Fahrt durch Laien in Abhängigkeit der Versuchsumgebung	126
Abbildung 4-48: Subjektive Abschlussbewertungen der gesamten Fahrt durch Experten in Abhängigkeit der Versuchsumgebung	126
Abbildung 4-49: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für positives Nutzererlebnis in Abhängigkeit der Versuchsumgebung und Nutzerexpertise	127
Abbildung 4-50: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für negatives Nutzererlebnisse in Abhängigkeit der Versuchsumgebung und Nutzerexpertise	127
Abbildung 5-1: Erstkontakt und Gewöhnungsphase der ersten automatisierten Fahrt eines Nutzers...	134
Abbildung 5-2: Häufigkeit der Nennungen verschiedener Kategorien für negatives Nutzererlebnis ...	135
Abbildung 5-3: Modell des Kulturschocks in Anlehnung an DuBois (1951) und Dutton (2011).....	137

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1. Methodenübersicht.....	13
Tabelle 2-1. Absicherungsmethoden und ihr Anteil realer und simulierter Komponenten nach Strasser (2012).....	17
Tabelle 2-2. Erweiterung der Absicherungsmethoden um menschenzentrierte Verfahren.....	18
Tabelle 2-3. Instruktion für Wizard.....	29
Tabelle 2-4. Aufgaben für den zweiten Wizard / Versuchsleiter	31
Tabelle 2-5. Instruktion und technische Maßnahmen für Wizard-of-Oz im Fond.....	34
Tabelle 4-1. Voraussetzungen des t-Test und der Varianzanalyse nach Bortz und Schuster (2010)	59
Tabelle 4-2. Nichtparametrische Alternativen für statistische Verfahren	59
Tabelle 4-3. Kurzübersicht der Studie <i>Bewertung der Fahrdynamik beim automatisierten Fahren im Wizard-of-Oz „Fond“</i>	61
Tabelle 4-4. Beschreibung des Probandenkollektivs (N = 34).....	63
Tabelle 4-5. Kategorisierung der drei eingesetzten fahrfremden Tätigkeiten in Anlehnung an Festner, Schmidt, Omozik und Schramm (im Druck).....	64
Tabelle 4-6. Automatisierte Fahrmanöver.....	65
Tabelle 4-7. Dynamik der automatisierten Fahrstreifenwechsel abhängig von Versuchsfahrer 1 bis 3 ..	70
Tabelle 4-8. Dynamik der automatisierten Fahrmanöver.....	71
Tabelle 4-9. Vergleich zwischen der gemessenen Dynamik im Wizard-of-Oz und realem Versuchsträger anhand von Fahrstreifenwechsel	72
Tabelle 4-10. Exemplarische Zitate in Abhängigkeit der Kriterien für negatives Nutzererlebnis	75
Tabelle 4-11. Kurzübersicht der Studie <i>Bewertung der Fahrstrategie beim automatisierten Fahren im Wizard-of-Oz „Fond“</i>	78
Tabelle 4-12. Beschreibung des Probandenkollektivs (N = 49).....	80
Tabelle 4-13. Fahrmanöver	82
Tabelle 4-14. Items der manöverbasierten Befragung	84
Tabelle 4-15. Dynamik des automatisierten Fahrstreifenwechsel 1 abhängig von Versuchsfahrer 1 oder 2	87

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 4-16. Dynamik der automatisierten Fahrmanöver	88
Tabelle 4-17. Vergleich der gemessenen Dynamikwerte von Fahrstreifenwechseln und Kruskal-Wallis-Test zwischen Wizard-of-Oz und realem Versuchsträger	89
Tabelle 4-18. Explorativer Vergleich des Nutzerverhaltens abhängig von der Nutzerexpertise.....	90
Tabelle 4-19. Auswertung der Bewertung der automatisierten Fahrmanöver in Abhängigkeit der fahrfremden Tätigkeit und der Nutzerexpertise.....	93
Tabelle 4-20. Vergleich der subjektiven Abschlussbewertungen der gesamten Fahrt	96
Tabelle 4-21. Kurzübersicht der Studie <i>Bewertung der Fahrstrategie beim automatisierten Fahren im Fahrsimulator</i>	101
Tabelle 4-22. Beschreibung des Probandenkollektivs (N = 40)	103
Tabelle 4-23. Dynamik der automatisierten Fahrmanöver	107
Tabelle 4-24. Vergleich der gemessenen Dynamikwerte von Fahrstreifenwechseln und Kruskal-Wallis-Test zwischen Simulator und realem Versuchsträger.....	108
Tabelle 4-25. Auswertung der Bewertung der automatisierten Fahrmanöver in Abhängigkeit der fahrfremden Tätigkeit und der Nutzerexpertise.....	111
Tabelle 4-26. Vergleich der subjektiven Abschlussbewertungen der gesamten Fahrt	114
Tabelle 4-27. Vergleich der gemessenen Dynamikwerte von Fahrstreifenwechseln und Kruskal-Wallis-Test zwischen Wizard-of-Oz und Fahrsimulator.....	118
Tabelle 5-1. Bewertungsskala für situatives Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren.....	135

Anhang A: Studie 1

Herzlich Willkommen zu unserer Studie zum automatisierten Fahren!

Vorab würden wir Sie bitten, einige Fragen zu beantworten, welche sich auf Ihre Einstellungen zum automatisierten Fahren sowie zum Autofahren im Allgemeinen beziehen.

Bitte beantworten Sie diese Fragen möglichst **spontan** und **ehrlich**. Selbstverständlich werden wir Ihre angegebenen Daten vertraulich behandeln und ausschließlich in anonymisierter Form für statistische Zwecke verwenden.

1. Fahrertyp							
Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihre Einstellung zum Autofahren im Allgemeinen .							
<i>Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).</i>							
	Stimme gar nicht zu				Stimme voll und ganz zu		
	1	2	3	4	5	6	7
1. Autofahren macht mir Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Autofahren im heutigen Verkehr macht mich nervös.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Beim Autofahren kann ich mich erholen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Autofahren ist für mich ein notwendiges Übel.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Ich fahre gerne schnell und sportlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. An die Geschwindigkeitsbegrenzungen halte ich mich streng.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Von meinem Fahrzeug verlange ich, dass es meine sportliche Fahrweise ideal unterstützt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Ich liebe es, die Kraft des Motors zu spüren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Ich halte mit meinem Auto immer ausreichend Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Ich glaube, dass ich im Vergleich zu anderen Autofahrern mein Fahrzeug sehr gut beherrsche.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

11. Ich reagiere schneller als der Durchschnitt der Autofahrer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Ich schätze mich als erfahrenen Fahrer ein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Einstellung zum automatisierten Fahren

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihre **Einstellung zum automatisierten Fahren**.

Beim automatisierten Fahren übernimmt das System die Fahraufgabe und regelt die Quer- und Längsführung. D.h. das System lenkt selbständig und regelt die Geschwindigkeit.

Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).

	Stimme gar nicht zu				Stimme voll und ganz zu		
	1	2	3	4	5	6	7
1. Ich würde mein Fahrzeug auf der Autobahn lieber selber fahren als die Steuerung an das automatisierte Fahrsystem abzugeben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Das automatisierte Fahrsystem ermöglicht mir mehr Fahrsicherheit als eine manuelle Steuerung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Wenn mich das Fahren langweilen würde, würde ich es an das automatisierte Fahrsystem abgeben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie viel Dynamik möchten Sie beim automatisierten Fahren?

Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).

	Stimme gar nicht zu				Stimme voll und ganz zu		
	1	2	3	4	5	6	7
4. Ich möchte so wenig Dynamik wie möglich, um einen möglichst hohen Komfort zu erreichen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Ich wünsche mir eine gewisse Dynamik, um eine Rückmeldung über das Fahrzeugverhalten zu bekommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Ich kann mir vorstellen, dass ich beim automatisierten Fahren manchmal auch Spaß an deutlich spürbarer Fahrdynamik habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an unserer Studie zum automatisierten Fahren!

Im Anschluss an die Studie würden wir Sie bitten, einige Fragen zu Ihren eben **erlebten Erfahrungen beim automatisierten Fahren** zu beantworten.

Bitte beantworten Sie diese Fragen möglichst **spontan** und **ehrlich**. Selbstverständlich werden wir Ihre angegebenen Daten vertraulich behandeln und ausschließlich in anonymisierter Form für statistische Zwecke verwenden.

3. Allgemeine Bewertung							
Bitte bewerten Sie folgende Aussage auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).							
	Stimme gar nicht zu			Stimme voll und ganz zu			
	1	2	3	4	5	6	7
1. Mit dem automatisierten Fahrsystem bin ich insgesamt sehr zufrieden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Nach dem Versuch verspüre ich Übelkeit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ab welcher Tätigkeit haben Sie Übelkeit verspürt?							
3. Ich empfand das automatisierte Fahren als sicher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieso empfanden Sie den Fahrmodus als sicher/unsicher? Gibt es einen Unterschied zwischen den Tätigkeiten?							
4. Ich empfand das automatisierte Fahren als komfortabel.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieso empfanden Sie den Fahrmodus als komfortabel/unkomfortabel? Gibt es einen Unterschied zwischen den Tätigkeiten?							
5. Ich habe mich während dem automatisierten Fahren wohl gefühlt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieso haben Sie sich wohl/unwohl gefühlt? Gibt es einen Unterschied zwischen den Tätigkeiten?							
4. Vertrauen in die Automation							

Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).

	Stimme gar nicht zu			Stimme voll und ganz zu			
	1	2	3	4	5	6	7
1. Ich vertraue dem automatisierten Fahrzeug.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ich würde das automatisierte System gerne nutzen, falls es in meinem eigenen Fahrzeug verfügbar wäre.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ich finde, dass das automatisierte System während der Fahrt Sicherheit gewährt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Ich finde, dass das automatisierte Fahrzeug zuverlässig ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Das Fahrverhalten war nachvollziehbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Komfort

Geben Sie im Folgenden für die aufgeführten Adjektive an, inwieweit sie eher auf „Selber fahren“ (=1) oder auf „Automatisiert fahren“ (=7) zutreffen.

Bitte beachten Sie an dieser Stelle keine Bewertung der ausgeführten Tätigkeit (z.B. Tetris spielen) vorzunehmen.

	Selber fahren			Automatisiert fahren			
	1	2	3	4	5	6	7
1. ... komfortabler ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieso ist die Automation komfortabler / weniger komfortabel?							
2. ... anstrengender ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. ... bequemer ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. ... stressfreier ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. ... beschwerlicher ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. ... entspannender ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. ... belastender ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1. Fahrfremde Tätigkeiten

Ich würde während einer automatisierten Fahrt diese Tätigkeiten (bzw. ähnlich ablenkende Tätigkeiten) **ausführen.**

Bitte bewerten Sie Aussage auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).

	Stimme gar nicht zu			Stimme voll und ganz zu			
	1	2	3	4	5	6	7
Verkehr beobachten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieso?							
Video schauen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieso?							
Tetris spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieso?							

2. Zufriedenheit bezüglich des Fahrstils

Im Nachgang möchten wir Sie nochmals fragen, wie viel Dynamik Sie sich beim automatisierten Fahren wünschen.

	Stimme gar nicht zu			Stimme voll und ganz zu			
	1	2	3	4	5	6	7
7. Ich möchte so wenig Dynamik wie möglich, um einen möglichst hohen Komfort zu erreichen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Ich wünsche mir eine gewisse Dynamik, eine Rückmeldung über das Fahrzeugverhalten zu bekommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Ich kann mir vorstellen, dass ich beim automatisierten Fahren manchmal auch Spaß an deutlich spürbarer Fahrdynamik habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Wie **stufen Sie den erlebten Fahrstil beim automatisierten Fahren** auf einer Skala von *wenig Dynamik* bis *viel Dynamik* ein?

Sie können Ihre Antwort auf jedem beliebigen Punkt dazwischen setzen.

wenig Dynamik |-----| viel Dvnamik

4. Welchen Fahrstil **wünschen** Sie sich beim **Verkehr beobachten**?

wenig Dvnamik |-----| viel Dvnamik

5. Welchen Fahrstil wünschen Sie sich beim Video schauen ?																	
wenig Dynamik ----- viel Dynamik																	
6. Welchen Fahrstil wünschen Sie sich beim Tetris spielen ?																	
wenig Dynamik ----- viel Dynamik																	
7. Inwieweit sind Sie mit den gefahrenen Geschwindigkeiten zufrieden?																	
Zu niedrig ----- Zu hoch Wieso? _____ _____																	
Hätten Sie sich eine Geschwindigkeitsanzeige während der automatisierten Fahrt gewünscht? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>																	
8. Inwieweit sind Sie mit den Abständen zum Vorderfahrzeug zufrieden?																	
Zu eng ----- Zu weit Wieso? _____ _____																	
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;"></td> <td style="text-align: center;">Gar nicht</td> <td style="text-align: center;">Sehr stark</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">1</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">2</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">3</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">4</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">5</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">6</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">7</td> </tr> </table> </td> <td></td> </tr> </table>			Gar nicht	Sehr stark		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">1</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">2</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">3</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">4</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">5</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">6</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">7</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7				
	Gar nicht	Sehr stark															
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">1</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">2</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">3</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">4</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">5</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">6</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">7</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7									
1	2	3	4	5	6	7											
9. Inwieweit haben Sie sich als Verkehrshindernis im Straßenverkehr wahrgenommen?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;"></td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">1</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">2</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">3</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">4</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">5</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">6</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">7</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> Wieso? _____ _____ </td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>		1	2	3	4	5	6	7	Wieso? _____ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5	6	7										
Wieso? _____ _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										

		Gar nicht			Sehr			
		zufrieden			zufrieden			
		1	2	3	4	5	6	7
10. Inwieweit sind Sie mit dem Spurhalten zufrieden?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieso?	<hr/> <hr/>							
11. Inwieweit sind Sie mit den Spurwechseln zufrieden?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieso?	<hr/> <hr/>							

Anhang B: Studie 2

Herzlich Willkommen zu unserer Studie zum Hochautomatisierten Fahren!

Vorab würden wir Sie bitten, einige Fragen zu beantworten, welche sich auf Ihre Einstellungen zum Hochautomatisierten Fahren sowie zum Autofahren im Allgemeinen beziehen.

Bitte beantworten Sie diese Fragen möglichst **spontan** und **ehrlich**. Selbstverständlich werden wir Ihre angegebenen Daten vertraulich behandeln und ausschließlich in anonymisierter Form für statistische Zwecke verwenden.

6. Einstellung zum Autofahren							
Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihre Einstellung zum Autofahren im Allgemeinen .							
<i>Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).</i>							
	Stimme gar nicht zu				Stimme voll und ganz zu		
	1	2	3	4	5	6	7
13. Ich bin ein guter Autofahrer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Autofahren bereitet mir Freude.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Ich fahre gerne sportlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Autofahren ist für mich purer Stress.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. An Verkehrsregeln halte ich mich streng.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Wenn neue technische Entwicklungen auf den Markt kommen, nutze ich diese sofort.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Gegenüber Fahrassistenzsystemen bin ich positiv eingestellt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Vorerfahrung							
Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihre Vorerfahrung zum Autofahren im Allgemeinen .							
<i>Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).</i>							
	Stimme gar nicht zu				Stimme voll und ganz zu		
	1	2	3	4	5	6	7
1. Fahrassistenzsysteme (z.B. adaptiver Tempomat) sind mir vertraut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Es fällt mir schwer, die Kontrolle an Fahrassistenzsysteme abzugeben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Welche Erlebnisse mit Fahrassistenzsystemen sind Ihnen besonders in Erinnerung geblieben?	
--	--

8. Einstellung zum Hochautomatisierten Fahren

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihre **Einstellung zum Hochautomatisierten Fahren**.

Beim Hochautomatisierten Fahren übernimmt das System die Fahraufgabe d.h. es lenkt selbständig und regelt die Geschwindigkeit.

Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).

	Stimme gar nicht zu				Stimme voll und ganz zu		
	1	2	3	4	5	6	7
	10. Ich habe bereits Erfahrungen mit hochautomatisierten Fahrzeugen gesammelt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Auf der Autobahn würde ich lieber selber fahren als die Steuerung an das hochautomatisierte Fahrsystem abzugeben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Mit einem hochautomatisierten Auto verbinde ich ein völlig neuartiges Fahrerlebnis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. In einem hochautomatisierten Fahrzeug kann ich meine Zeit gut nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Ich wünsche mir, dass das Auto mich abholt und selbstständig parkt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Ich erwarte, dass mir Fahrmanöver vorab signalisiert werden (z.B. durch Blinkgeräusche, Anzeigen, Ansagen).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. In einem hochautomatisierten Fahrzeug schaue ich meine Lieblingssendung oder nutze das Entertainmentssystem.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Wenn mich das Fahren langweilt, übergebe ich an das hochautomatisierte Fahrsystem.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Es ist mir wichtig, dass ich jederzeit das Steuer übernehmen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Das hochautomatisierte Fahrsystem bietet mir mehr Fahrsicherheit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Ich vertraue dem Fahrzeug, dass es mich an mein Ziel bringt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. Sollte ein Unfall passieren, ist der Fahrer verantwortlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. Hochautomatisierte Fahrzeuge sollten so schnell wie möglich auf den Markt gebracht werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Persönliches Erleben							
Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihre persönliche Erwartung an die hochautomatisierte Fahrt .							
<i>Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).</i>							
	Stimme gar nicht zu				Stimme voll und ganz zu		
	1	2	3	4	5	6	7
1. Während der Fahrt bin ich entspannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ich fühle mich unwohl, wenn ich keine Kontrolle über das Fahrzeug habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Hochautomatisiertes Fahren fasziniert mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Ich mache mir Sorgen über mögliche technische Störungen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Ich fühle mich in einem hochautomatisierten Auto als Beifahrer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an unserer Studie zum Hochautomatisierten Fahren!

Im Anschluss an die Studie würden wir Sie bitten, einige Fragen zu Ihren eben **erlebten Erfahrungen beim Hochautomatisierten Fahren** zu beantworten.

Bitte beantworten Sie diese Fragen möglichst **spontan** und **ehrlich**. Selbstverständlich werden wir Ihre angegebenen Daten vertraulich behandeln und ausschließlich in anonymisierter Form für statistische Zwecke verwenden.

10. Allgemeine Bewertung							
<i>Bitte bewerten Sie folgende Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).</i>							
	Stimme nicht zu	gar				Stimme voll und ganz zu	
	1	2	3	4	5	6	7
6. Mit dem Hochautomatisierten Fahrsystem bin ich insgesamt sehr zufrieden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Was hat Ihnen besonders gut gefallen?							
Was würden Sie noch verbessern?							
7. Ich hatte das Gefühl, andere Verkehrsteilnehmer aufzuhalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In welchen Situationen?							
8. Der gehaltene Abstand war der Situation angemessen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wann war der Abstand zu klein/zu groß?							
9. Ich bin zügig genug vorangekommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ANHANG B: STUDIE 2

Wann war das Tempo nicht angemessen?								

	Stimme gar nicht zu				Stimme voll und ganz zu		
	1	2	3	4	5	6	7
10. Ich habe Übelkeit verspürt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ab wann haben Sie Übelkeit verspürt?							
11. Ich empfand das Hochautomatisierte Fahren als sicher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieso empfanden Sie den Fahrmodus als sicher/unsicher?							
Gab es dabei Unterschiede im Fahrtverlauf?							
12. Ich empfand das Hochautomatisierte Fahren als komfortabel.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieso empfanden Sie den Fahrmodus als komfortabel/unkomfortabel?							
Gab es dabei Unterschiede im Fahrtverlauf?							
13. Ich war mit dem Innenraumkonzept und der Ergonomie sehr zufrieden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ANHANG B: STUDIE 2

<p>Was würden Sie verändern, um den Komfort zu steigern (z.B. Sitzposition, Anordnung der Anzeigen, Fußposition)?</p>	

11. Einstellung zum Hochautomatisierten Fahren							
Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihre Einstellung zum Hochautomatisierten Fahren .							
Beim <u>Hochautomatisierten Fahren</u> übernimmt das System die Fahraufgabe d.h. es lenkt selbständig und regelt die Geschwindigkeit.							
Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).							
	Stimme gar nicht zu				Stimme voll und ganz zu		
	1	2	3	4	5	6	7
23. Ich habe bereits Erfahrungen mit hochautomatisierten Fahrzeugen gesammelt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. Auf der Autobahn würde ich lieber selber fahren als die Steuerung an das hochautomatisierte Fahrsystem abzugeben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25. Mit einem hochautomatisierten Auto verbinde ich ein völlig neuartiges Fahrerlebnis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26. In einem hochautomatisierten Fahrzeug kann ich meine Zeit gut nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27. Ich wünsche mir, dass das Auto mich abholt und selbstständig parkt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28. Ich erwarte, dass mir Fahrmanöver vorab signalisiert werden (z.B. durch Blinkgeräusche, Anzeigen, Ansagen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ja, wie?							
29. In einem hochautomatisierten Fahrzeug schaue ich meine Lieblingssendung oder nutze das Entertainmentsystem.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30. Wenn mich das Fahren langweilt, übergebe ich an das hochautomatisierte Fahrsystem.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31. Es ist mir wichtig, dass ich jederzeit das Steuer übernehmen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32. Das hochautomatisierte Fahrsystem bietet mir mehr Fahrsicherheit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33. Ich vertraue dem Fahrzeug, dass es mich an mein Ziel bringt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34. Sollte ein Unfall passieren, ist der Fahrer verantwortlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35. Hochautomatisierte Fahrzeuge sollten so schnell wie möglich auf den Markt gebracht werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

12. Persönliches Erleben							
Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihr persönliches Erleben der hochautomatisierten Fahrt.							
Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).							
	Stimme gar nicht zu			Stimme voll und ganz zu			
	1	2	3	4	5	6	7
1. Wie lang war Ihre Eingewöhnungsphase?							
2. Während der Fahrt war ich entspannt.							
Eingewöhnungsphase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Restliche Fahrt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ich fühlte mich unwohl, wenn ich keine Kontrolle über das Fahrzeug hatte.							
Eingewöhnungsphase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Restliche Fahrt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Hochautomatisiertes Fahren fasziniert mich.							
Eingewöhnungsphase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Restliche Fahrt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Ich machte mir Sorgen über mögliche technische Störungen.							
Eingewöhnungsphase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Restliche Fahrt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Ich fühlte mich in einem hochautomatisierten Auto als Beifahrer.							
Eingewöhnungsphase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Restliche Fahrt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anhang C: Studie 3

Herzlich Willkommen zu unserer Studie zum hochautomatisierten Fahren!

Vorab würden wir Sie bitten, einige Fragen zu beantworten, welche sich auf Ihre Einstellungen zum hochautomatisierten Fahren sowie zu Erlebnissen aus Ihrem Alltag beziehen.

Bitte beantworten Sie diese Fragen möglichst **spontan** und **ehrlich**. Selbstverständlich werden wir Ihre angegebenen Daten vertraulich behandeln und ausschließlich in anonymisierter Form für statistische Zwecke verwenden.

13. Einstellung zu Automation und Technologie					
Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihre Einstellung zu Automation und Technologie und Ihre Interaktion mit „technischen Systemen“ . Mit „technischen Systemen“ sind sowohl Apps, andere Software-Anwendungen, als auch komplette digitale Geräte (z.B. Handy, Computer, Fernseher oder Fahrerassistenzsysteme) gemeint.					
<i>Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 5 (Stimme voll und ganz zu).</i>					
	Stimme gar nicht zu			Stimme voll und ganz zu	
	1	2	3	4	5
20. Ich informiere mich über die aktuellen Entwicklungen des automatisierten Fahrens.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. Wenn ich eine neue Technologie im Alltag verwende, bin ich erstmal misstrauisch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. Ich würde ein automatisiertes Fahrzeug gerne in meinen Alltag einbinden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. Bitte begründen Sie Ihre Angabe:					
24. Ich beschäftige mich gerne genauer mit technischen Systemen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25. Ich probiere gern die Funktion neuer technischer Systeme aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26. In erster Linie beschäftige ich mich mit technischen Systemen weil ich muss.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27. Wenn ich ein neues technisches System vor mir habe, probiere ich es intensiv aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28. Ich verbringe sehr gerne Zeit mit dem Kennenlernen eines neuen technischen Systems.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29. Es genügt mir, dass ein technisches System funktioniert, mir ist es egal wie oder warum.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30. Ich versuche zu verstehen, wie ein technisches System genau funktioniert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31. Es genügt mir die Grundfunktionen eines technischen Systems zu kennen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32. Ich versuche die Möglichkeiten eines technischen Systems vollständig auszunutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

14. Immersion							
Die folgenden Fragen beziehen sich auf Erlebnisse aus Ihrem Alltag .							
Bitte beantworten Sie die Fragen auf einer Skala von 1 (Trifft nie zu/ nicht fit) bis 7 (Trifft immer zu/ sehr fit).							
	1	2	3	4	5	6	7
	Trifft nie zu			Trifft immer zu			
36. Versetzten Sie sich leicht in Filme oder Fernsehsendungen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37. Sind Sie manchmal so sehr in eine Fernsehsendung oder ein Buch vertieft, dass es anderen Menschen schwerfällt Ihre Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
38. Sind Sie manchmal so sehr in einen Film vertieft, dass Sie Dinge, die um Sie herum passieren, nicht mehr wahrnehmen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
39. Identifizieren Sie sich oft mit dem Charakter einer Geschichte?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40. Sind Sie manchmal so sehr in ein Videospiel vertieft, dass es Ihnen erscheint, als würden Sie sich im Spiel befinden und nicht, als würden Sie einen Joystick bewegen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41. Können Sie äußere Störfaktoren gut ausblenden, wenn Sie sich mit etwas beschäftigen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42. Sind Sie manchmal so sehr in Tagträume vertieft, dass Sie Dinge, die um Sie herum passieren, nicht mehr wahrnehmen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
43. Haben Sie manchmal Träume, die so real sind, dass Sie desorientiert sind, wenn Sie aufwachen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
44. Vergessen Sie manchmal die Zeit, wenn Sie Sport machen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
45. Sind Sie manchmal während einer Verfolgungsjagd oder einer Kampfszene im Fernsehen oder im Kino aufgeregt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
46. Haben Sie manchmal Angst vor etwas, was Sie im Fernsehen gesehen haben?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
47. Sind Sie manchmal über einen längeren Zeitraum hinweg besorgt oder ängstlich, nachdem Sie einen angsteinflößenden Film gesehen haben?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48. Sind Sie manchmal so sehr in eine Tätigkeit vertieft, dass Sie die Zeit vergessen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Nicht wach/fit			Sehr wach/ fit			
49. Wie wach fühlen Sie sich im Moment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
50. Wie körperlich fit fühlen Sie sich heute?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

15. Allgemeines Befinden

Bitte geben Sie an, ob und gegebenenfalls, wie stark Sie die folgenden Symptome haben.

Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (gar nicht) bis 4 (stark).

	Gar nicht	Etwas	Mittel	Stark
	1	2	3	4
1. Allgemeines Unwohlsein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ermüdung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Angestrenzte Augen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Erhöhter Speichelfluss	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Schwierigkeit scharf zu sehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Schwitzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Kopfschmerzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Übelkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Konzentrationsschwierigkeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Druckgefühl im Kopfbereich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Verschwommene Sicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Schwindel bei geöffneten Augen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Schwindel bei geschlossenen Augen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Gleichgewichtsstörung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Magenbeschwerden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Aufstoßen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an unserer Studie zum hochautomatisierten Fahren!

16. Präsenz							
Die folgenden Fragen beziehen sich auf die Qualität Ihrer Erlebnisse im Simulator. Abhängig von der Technik, die zur Darstellung und Steuerung der virtuellen Umgebung benutzt wird, erleben Personen virtuelle Umgebungen unterschiedlich realistisch. Die Fragen sollen den Einfluss verschiedener Faktoren auf Ihr Erleben der virtuellen Umgebung erheben.							
	1	2	3	4	5	6	7
	Unnatürlich			Natürlich			
1. Wie natürlich erschien Ihnen die Interaktion mit der Umgebung?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Wie natürlich erschien Ihnen der Mechanismus, der die Bewegung in der Umgebung kontrollierte?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Wie real erschienen Ihnen ihre Bewegungen durch den virtuellen Raum?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Sehr wenig			Sehr stark			
4. Wie stark trug das, was Sie gesehen haben, dazu bei, dass Sie sich in die virtuelle Umgebung hineinversetzt fühlten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Wie stark trug das, was Sie gehört haben, dazu bei, dass Sie sich in die virtuelle Umgebung hineinversetzt fühlten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Wie stark stimmten Ihre Erfahrungen in der virtuellen Welt mit der realen überein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Wie stark fühlten Sie sich in die virtuelle Realität hineinversetzt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Wie überzeugend war Ihr Eindruck den bewegten Objekten im virtuellen Raum?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Gar nicht gut			Sehr gut			
9. Wie gut konnten Sie vorhersehen, was als Reaktion auf Ihre Handlungen folgen würde?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Wie gut waren Sie in der Lage, die Umgebung visuell zu überblicken oder zu untersuchen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Wie gut konnten Sie Geräusche identifizieren und lokalisieren?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Wie gut konnten Sie Objekte in der virtuellen Realität bewegen oder manipulieren?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Keine Verzögerung			Lange Verzögerung			
13. Wie groß war die Verzögerung zwischen Ihren Aktionen und der erwarteten Reaktionen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Sehr langsam			Sehr schnell			
14. Wie schnell gewöhnten Sie sich an die virtuelle Umgebung?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bedienelemente			Fahraufgabe			
15. Konnten Sie sich auf die Ausführung der Fahraufgabe konzentrieren oder mussten Sie sich auf die Bedienelemente konzentrieren?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Stimme gar					Stimme voll und ganz zu	

	nicht zu						
16. Ich hatte das Gefühl einen Film anzuschauen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Ich hatte das Gefühl auf einer Autobahn zu fahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

17. Persönliches Erleben							
...während dem automatisierten Fahren!	Stimme	gar			Stimme voll		
	nicht zu					und ganz zu	
	1	2	3	4	5	6	7
1. Der Gesamteindruck vom Beschleunigungs- und Bremsverhalten war realistisch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bitte begründen Sie Ihre Antwort.							
2. Der Gesamteindruck zur Kurvenfahrt/ Spurwechsel war realistisch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bitte begründen Sie Ihre Antwort.							
3. Ich kann mir vorstellen mich in dem Simulator mehr auf Nebenaufgaben zu konzentrieren, als in der Realität (Radiobedienung etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bitte begründen Sie Ihre Antwort.							
4. Ich konnte die Geschwindigkeiten gut einschätzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bitte begründen Sie Ihre Antwort.							
5. Ich konnte den Abstände gut einschätzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bitte begründen Sie Ihre Antwort.							
6. Das Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer war realistisch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bitte begründen Sie Ihre Antwort.							
7. War Ihre Risikoeinschätzung realistisch?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

18. Allgemeine Bewertung							
<p>Die folgenden Fragen beziehen sich auf die Fahrt im hochautomatisierten Fahrzeug. Bitte bewerten Sie nur Ihre Erlebnisse mit dem System, nicht mit dem Simulator.</p> <p><i>Bitte bewerten Sie folgende Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).</i></p>							
	Stimme nicht zu		gar			Stimme voll und ganz zu	
	1	2	3	4	5	6	7
14. Mit dem hochautomatisierten System bin ich insgesamt sehr zufrieden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Was hat Ihnen besonders gut gefallen?							
Was würden Sie noch verbessern?							

15. Während der Fahrt war ich entspannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie lange hat es etwa gedauert, bis Sie sich an das automatisierte Fahren gewöhnt haben?							
16. Ich hatte das Gefühl, andere Verkehrsteilnehmer aufzuhalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In welchen Situationen?							
17. Der gehaltene Abstand nach vorne war der Situation angemessen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wann war der Abstand zu klein/ zu groß?							
	Stimme gar nicht zu			Stimme voll und ganz zu			
	1	2	3	4	5	6	7
18. Ich bin zügig genug vorangekommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wann war das Tempo nicht angemessen?							
19. Ich erwarte, dass mir Fahrmanöver vorab signalisiert werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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

<p>In welchen Situationen hätten Sie ein Signal erwartet?</p>							
<p>20. Es ist mir wichtig, dass ich jederzeit das Steuer übernehmen kann.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>21. Ich empfand das hochautomatisierte Fahren als komfortabel.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>Wieso empfanden Sie das System als komfortabel</p> <p>/ unkomfortabel?</p>							

19. Einstellung zum hochautomatisierten Fahren

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihre **Einstellung zur Automation**. Als Automatisierung ist hier das System zum hochautomatisierten Fahren zu verstehen.

Beim hochautomatisierten Fahren übernimmt das System die Fahraufgabe d.h. es lenkt selbständig und regelt die Geschwindigkeit.

Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).

	Stimme gar nicht zu				Stimme voll und ganz zu		
	1	2	3	4	5	6	7
1. Das System hat die Funktionalität, die ich benötige.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Das System verbessert meine Leistung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Das System versetzt mich in die Lage, Aufgaben rascher zu erledigen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Das System hat die technischen Merkmale, die erforderlich sind, um meine Aufgaben zu erledigen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Die vom System bereitgestellten Informationen, sind so gut wie diejenigen, die eine hochkompetente Person liefern kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Das System nutzt die von mir bereitgestellten Informationen korrekt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Das System ist eine kompetente Orientierungshilfe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Meine Interaktion mit dem System ist klar und nachvollziehbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Das System ist in Bezug auf die Interaktion benutzerfreundlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Das System nutzt angemessene Verfahren, um zu Entscheidungen zu kommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Das System stellt mir zeitnah Informationen bereit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Die vom System bereitgestellten Informationen, basieren auf dem, was für mich wichtig ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Bei der Verwendung der Informationen, die sich auf ein zertifiziertes System, wie z.Bsp. Google Maps stützen, fühle ich mich sicher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Ich habe Vertrauen in die Leistung des Systems.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Wenn ein kritisches Problem auftaucht, kann ich mich auf die vom System bereitgestellten Informationen verlassen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Ich kann mich immer auf das System verlassen, um meine Leistung sicherzustellen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Das System generiert Informationen, die auf meinen Bedürfnissen basieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

20. Allgemeines Befinden				
Bitte geben Sie an, ob und gegebenenfalls, wie stark Sie die folgenden Symptome haben.				
<i>Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (gar nicht) bis 4 (stark).</i>				
	Gar nicht	Etwas	Mittel	Stark
	1	2	3	4
17. Allgemeines Unwohlsein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Ermüdung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Angestrengte Augen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Erhöhter Speichelfluss	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. Schwierigkeit scharf zu sehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. Schwitzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. Kopfschmerzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. Übelkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25. Konzentrationsschwierigkeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26. Druckgefühl im Kopfbereich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27. Verschwommene Sicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28. Schwindel bei geöffneten Augen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29. Schwindel bei geschlossenen Augen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30. Gleichgewichtsstörung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31. Magenbeschwerden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32. Aufstoßen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>