

Gamification zur Vorbeugung monotoniebedingter Müdigkeit bei der Fahrzeugführung

im Vergleich zur Fahrer-Beifahrerinteraktion

Am Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt

zur

Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

Lukas Robert Bier, M.Sc. Wi.-Ing.

aus Groß-Umstadt

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder, TU Darmstadt
Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Matthias Rötting, TU Berlin

Tag der Einreichung: 14. März 2019
Tag der mündlichen Prüfung: 10. Juli 2019

Darmstadt 2019

D17

Bier, Lukas: Gamification zur Vorbeugung monotoniebedingter Müdigkeit bei der Fahrzeugführung
Darmstadt, Technische Universität Darmstadt,
Jahr der Veröffentlichung der Dissertation auf TUPrints: 2019
URN: urn:nbn:de:tuda-tuprints-88769
Tag der mündlichen Prüfung: 10.07.2019
Veröffentlicht unter CC BY-ND 4.0 International – Creative Commons, Namensnennung, keine
Bearbeitung
<https://creativecommons.org/licenses/>

Danksagung

Mein erster Dank gilt meinem Doktorvater *Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder* dafür, dass Sie mir die Möglichkeit gegeben haben, an dem Institut zu promovieren, an dem ich schon als Kind meine ersten Schritte gegangen bin. Insbesondere die Freiheiten, die Sie mir gegeben haben, waren der Grundstein für den erfolgreichen Abschluss meiner Arbeit. Ich danke Ihnen für die menschliche und fachliche Unterstützung.

Für die Übernahme des Koreferats möchte ich mich bei *Prof. Dr.-Ing. Matthias Rötting* von der Technischen Universität Berlin bedanken.

Ich bedanke mich ganz herzlich bei *Bettina Abendroth*, die dem Institut stets eine äußerst würdige stellvertretende Leitung war und mit mir Wege gefunden hat meine Forschung zu finanzieren. Ich danke dir für all deine Unterstützung und die umfassende Begleitung meiner Arbeit. Ich danke *Jurij Wakula* für all seine Erfahrung, die er stets mit mir geteilt hat. Vielen Dank für deine Fürsorge als mein Gruppenleiter.

Besonderer Dank gilt *Ilka Zöller*, die mir als meine Kollegin, Kuchen-Backpartnerin und Freundin stets aktive, moralische und seelische Unterstützung geboten hat. Mit dir war jeder Arbeitstag tausendfach interessanter.

Ich danke meinem Kollegen Freund und Sportskumpanen *Andreas Müller* für seine unendliche Unterstützung und sein offenes Ohr und seine besondere Art Dinge genauso übertrieben ehrgeizig anzugehen, wie ich es so gerne tue.

Ich möchte mich bei *Ingmar Langer* bedanken, der nie einen Wettbewerb scheut und mir manchmal (ganz selten) auch Niederlagen beigebracht hat und auch mit diesen umzugehen.

Ich danke meinen Büronachbarn *Verena Steidel, Marius Oberle und Timm Römer*, die mich auch an meinen wortkargen Tagen stets unterhalten und inspiriert haben.

Ich danke dem vollständigen Kollegium für die fünf außergewöhnlichen Jahre am Institut für Arbeitswissenschaft. Ich hoffe, dass das Team weiterhin so toll zusammenhält und sich gegenseitig unterstützt. Ich setze nach meinem Ausscheiden den Institutstrainer und meinen Freund *Philip Joisten* als Verantwortlichen ein, dieses Ziel zu erreichen.

Carolina Probsthain und Simon Klein gilt meine Dankbarkeit und mein tiefster Respekt für ihre unzähligen Stunden, die sie als Beifahrer meine Versuche unterstützt haben. Ihr habt in Eurem Jahr am IAD für viel Spaß und Unterhaltung gesorgt.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei allen Studentinnen und Studenten, die im Rahmen ihrer studentischen Arbeiten wesentlich zur Erstellung der vorliegenden Arbeit beigetragen haben. Ohne euer Engagement und euren inhaltlichen Ertrag wäre dies nicht möglich gewesen. Zudem hat mir die Zusammenarbeit stets großen Spaß gemacht. Daher möchte ich meinen persönlichen Dank aussprechen an:

Kaja Felicitas Gut, Jasna Kulenovic, Michael Emele, David Rzany, Max Peter, Philipp Wolf, Oliver Juschak, Benjamin Fröhlich, Robin Englert, Szara Nessa Amini, Joel Dillmann, Philip Joisten, Christian Riegelbeck, Peter Roth, Tobias Zahn, Simon Negash, Timo Pommeranz.

Ganz besonderer Dank gilt auch meinen Freunden in Koblenz, Darmstadt und ganz Deutschland, die mich seit so vielen Jahren begleiten und die mir so viel mehr bedeuten, als ich zum Ausdruck bringen kann. In Vertretung für alle möchte ich namentlich *Jörg und Lydia Sauerborn, Helge Laubach und Alexander Konrad* nennen.

Den größten Dank möchte ich abschließend an meine Familie richten: an meine Eltern *Alice und Manfred*, die mir ALLES beigebracht haben, die mir Inspiration und Stütze waren und die mich stets haben Laufen lassen und deren Liebe ich mir sicher sein kann auch wenn ich mich noch so selten melde. Ich danke meinen Geschwistern *Fabian, Marcus, Ursula, Ruth und Anna* dafür, dass ich mich stets auf sie verlassen kann und dafür, dass sie mich zu der Person haben werden lassen, die ich heute bin.

Ich danke meinen *Großeltern und Großtanten* auch jenen die leider nicht mehr meinen Abschluss miterleben konnten, die aber so viel zu meiner persönlichen Entwicklung beigetragen haben und mich stets in meinem Werdegang gefördert haben.

Zuletzt danke ich dir *Hanna* für deine offensichtliche Hilfe auf dem Weg zur Fertigstellung der Arbeit, weil du mir in deiner Zeit am IAD so viel Last von den Schulter genommen hast und mich seither auf unserem gemeinsamen Weg inspirierst und motivierst - danke für Deine Unterstützung und Liebe - ich bin sehr froh Dich an meiner Seite zu haben.

„In every job that must be done there is an element of fun.”

– Mary Poppins

Zusammenfassung

Müdigkeit am Steuer kann schwerwiegende Folgen haben, denn zu häufig enden Unfälle aufgrund von Müdigkeit tödlich. Nicht selten entsteht die Müdigkeit aber erst während der Fahrt, weil Fahrerinnen und Fahrer unterfordert sind. Durch die steigende Automatisierung von Fahrzeugen ist vorauszusehen, dass die Anzahl durch Monotonie entstandener Unfälle zunimmt.

Bisherige Forschungsansätze zielen in den Untersuchungen überwiegend auf die Frage ab, mit welchen Mitteln Müdigkeit bekämpft werden kann oder wie Müdigkeit erkannt werden kann, um Fahrerinnen und Fahrer rechtzeitig vor ihr zu warnen. Der gewählte Ansatz der vorliegenden Arbeit besteht hingegen darin, bereits das Aufkommen der Müdigkeit zu unterbinden, indem einer der Ursachen von Müdigkeit, namentlich der Monotonie, präventiv vorgebeugt wird. Nach dem Vorbild der Interaktion mit Beifahrerinnen und Beifahrer, wird eine technische Interaktion zwischen Menschen und Fahrzeug durch den Einsatz von Gamificationelementen erzeugt.

Diese spielerischen Interaktionen fordern und belohnen eine besonders regelkonforme Fahr- und Verhaltensweise und sollen während einer sonst eintönigen Fahrt aus der Fahraufgabe heraus neue Reize für die Fahrzeugführer schaffen.

In der vorliegenden Ausarbeitung wird zunächst auf den Stand der Forschung zum Zusammenspiel von Monotonie, Müdigkeit und Interaktion eingegangen, bevor die auf diesem Kenntnisstand aufbauende Entwicklung eines Interaktionssystems vorgestellt wird.

Im Weiteren beschreibt die Arbeit den Aufbau und die Auswertung einer Fahrsimulatorstudie mit 31 Probandinnen und Probanden, in der die Wirkungsweise des Interaktionssystems gegen das Aufkommen von Müdigkeit untersucht wird. Diese Untersuchung enthält Auswertungen zur Fahrleistung und Psycho-Physiologischen Kenngrößen der Müdigkeit und beschreibt in einer ergänzenden Fragestellung das Nutzungserleben der Probandinnen und Probanden mit dem Interaktionssystem. Jede Versuchsperson ist den Versuch in randomisierter Reihenfolge dreifach durchlaufen, um das Interaktionssystem im Vergleich zu einer Alleinfahrt und einer Beifahrerfahrt zu testen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die geistige Anforderung bei Nutzung des Interaktionssystems im Vergleich zur Alleinfahrt gesteigert werden kann. Durch den Einbezug der Fahraufgabe in die Interaktion über Gamificationelemente, kann des Weiteren erreicht werden, dass die Fahrleistung der Fahrerinnen und Fahrer gesteigert wird, was sich unter anderem in einer besseren Spurhaltung und Umfeldwahrnehmung äußert. Auch ein Anstieg der subjektiv empfundenen Müdigkeit kann durch die Nutzung des Interaktionssystems reduziert werden.

Im Vergleich zur Beifahrerinteraktion bestehen Unterschiede in der durch die Interaktion erzeugten mentalen Beanspruchung, die aber zu einer vergleichbaren Fahrleistung auf beiden Fahrten führen.

Das System führte insgesamt zu einem positiven Nutzungserleben bei den Versuchspersonen, sodass empfohlen wird, das ausgearbeitete Konzept in zukünftigen Forschungsarbeiten weiterzuentwickeln.

Abstract

Fatigue while driving can have serious consequences, too often they lead to fatal accidents due to fatigue. It is not uncommon, however, for fatigue to occur while driving because the driver is underchallenged. Due to the increasing automation of vehicles, it is foreseeable that the number of accidents caused by monotony will increase.

On the one hand, previous research approaches have mainly focused on the question how fatigue can be countered once it occurred or how fatigue can be detected in order to warn drivers.

On the other hand, the approach chosen in this paper, is to prevent the development of fatigue by preventing one of the causes of fatigue, namely monotony. Following the example of interaction with a passenger, a technical interaction between man and vehicle is created through the use of gamification elements.

These playful interactions demand and reward a particularly rule-compliant driving and behavior style and are intended to create new stimuli for the drivers during an otherwise monotonous ride out of the driving task.

In this dissertation, the state of the art of research on the relationship between monotony, fatigue and interaction is discussed before the development of an interaction system based on this state of knowledge is presented.

The paper also describes the structure and evaluation of a driving simulator study with 31 test persons, in which the effectiveness of the interaction system against the development of fatigue is investigated. This study contains evaluations of driving performance and psycho-physiological parameters of fatigue and describes in a supportive research question the user experience of the test persons with the interaction system. Each subject has run through the experiment three times in randomized order to test the interaction system in comparison to a single ride and a passenger ride.

The results show that the mental requirement can be increased by using the interaction system in comparison to driving alone. By incorporating the driving task into the interaction via gamification elements, it can also be achieved that the driving performance of the test persons is increased, which is reflected, among other things, in better lane keeping and a better perception of the surroundings. An increase in subjectively perceived fatigue can also be reduced by using the interaction system.

In comparison to passenger interaction, there are differences in the mental strain generated by the interaction, which, however, lead to a comparable driving performance on both trials.

Overall, the system has led to a positive user experience among the test persons, so that it is recommended to further develop the concept in future research.

Abkürzungsverzeichnis

In der vorliegenden Arbeit wird nur aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich auf das generische Maskulinum von Probandinnen und Probanden und Fahrerinnen und Fahrern abgekürzt. Die Betrachtungen umfassen selbstverständlich beide Geschlechter in gleichem Maße.

A-, B-, I-Fahrt	Alleinfahrt, Beifahrerfahrt, Interaktionsfahrt
ANOVA	einfaktorielle Varianzanalyse (Akronym: Analysis of Variance)
CUE	Komponenten des Nutzungserlebens (Akronym: Components of User Experience)
EDA	Elektrodermale Aktivität
EKG	Elektrokardiogramm
Ges.A	Gesamtmaß Szenario Alleinfahrt
Ges.B	Gesamtmaß Szenario Beifahrerfahrt
Ges.I	Gesamtmaß Szenario Interaktionsfahrt
HUD	Head-Up-Display
HR	Herzschlagrate
HRV	Herzfrequenzvariabilität
Hz	Hertz
IBI	Herzschlag-Intervallabstand (Akronym: Inter-Beat-Intervall)
KSS	Karolinska-Sleepiness-Scale
LCD	Mittelkonsolen-Display (Akronym: Liquid Crystal Display)
LSF	Lidschlussfrequenz
μ S	Mikrosiemens
MW	Mittelwert
NASA TLX	NASA Task Load Index (Akronym NASA: National Aeronautics and Space Administration)
RW	Referenzwert

S/min	Schläge pro Minute
SCL	tonische Hautleitfähigkeit (Akronym: Skin Conductance Level)
SD	Standardabweichung (Akronym: Standard Deviation)
SDLP	Standardabweichung der lateralen Position
SDNN	Standardabweichung Herzschlag-Intervallabstand
SILAB	Fahringsimulatorsoftware
WIVW	Würzburger Institut für Verkehrswissenschaft
x.A	Maß des x-ten Intervalls Szenario Alleinfahrt
x.B	Maß des x-ten Intervalls Szenario Beifahrerfahrt
x.I	Maß des x-ten Intervalls Szenario Interaktionsfahrt

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	iv
Abstract	v
Abkürzungsverzeichnis	vi
Inhaltsverzeichnis	viii
1.....Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Zielsetzung	2
1.3. Aufbau der Arbeit	3
2.....Stand der Forschung	5
2.1. Müdigkeit	5
2.1.1. Modelle zur Müdigkeit	5
2.1.2. Monotonie als Einflussfaktor auf die Fahrermüdigkeit	9
2.1.3. Messmethoden der monotoniebedingten Fahrermüdigkeit	10
2.1.4. Gegenmaßnahmen zu monotoniebedingter Müdigkeit	15
2.2. Technische und menschliche Interaktion zur Fahrleistungserhaltung	16
2.2.1. Nebenaufgaben zur Vermeidung von Monotonie	16
2.2.2. Beifahrer-Kommunikation als Exempel	19
2.3. Identifizierung der Forschungslücke und Ableiten der Forschungsfragen	23
3.....Untersuchungsmodell	25
4.....Gamification als eingesetzte Monotonie-Intervention	28
4.1.1. Entwicklungsprozess	28
4.1.2. Anforderungsbestimmung	29
4.1.3. Umsetzung und Einbindung des Interaktionssystems	30
5.....Untersuchungskonzept	34
5.1. Untersuchungsziel und Leithypothesen	34
5.2. Versuchsaufbau	37
5.2.1. Anforderungen an den Versuchsaufbau	37
5.2.2. Versuchsstrecke und Szenarien	38
5.2.3. Probandenkollektiv	41
5.2.4. Versuchsträger	42
5.3. Datenerhebung und Dateninterpretation	43

5.3.1.	Mentale Beanspruchung	44
5.3.2.	Psycho-physiologische Müdigkeit	44
5.3.3.	Vigilanz	50
5.3.4.	Fahrleistung	53
5.3.5.	Nutzungserleben	57
5.4.	Versuchsdesign	61
5.5.	Versuchsdurchführung	61
5.6.	Zeitsynchronisierung und Auswertung der Daten	64
5.6.1.	Zeitsynchronisierung	64
5.6.2.	Auswertung	64
5.7.	Detaillierung der Untersuchungshypothesen	69
5.7.1.	Detaillierung der Leithypothesen LH1.1 & LH1.2	69
5.7.2.	Detaillierung der Leithypothesen LH2.1 & LH2.2	70
5.7.3.	Detaillierung der Leithypothesen LH3.1 & LH3.2	71
5.7.4.	Detaillierung der Leithypothesen LH4.1 & LH4.2	73
5.7.5.	Detaillierung der ergänzenden Leithypothesen LHe.1 & LHe.2	74
5.8.	Statistische Datenanalyse	75
5.8.1.	Datenaufbereitung	75
5.8.2.	Inferenzstatistische Tests	76
6.....	Ergebnisse der Fahrsimulatorversuche	79
6.1.	Mentale Beanspruchung	79
6.2.	Psycho-physiologische Müdigkeit	82
6.2.1.	Karolinska-Sleepniness-Scale	82
6.2.2.	Hautleitwert	83
6.2.3.	Herzschlagrate	88
6.2.4.	Herzschlagvariabilität	89
6.2.5.	Lidschlagfrequenz	93
6.3.	Vigilanz	97
6.3.1.	Verkehrsschilderkennung	97
6.3.2.	Gefahrensituation Wildwechsel	98
6.4.	Fahrleistung	100

6.4.1.	Longitudinale Fahrzeugführung	100
6.4.2.	Laterale Fahrzeugführung	104
6.4.3.	Vorfälle und Unfälle	109
6.5.	Nutzungserleben Gamification	111
6.5.1.	Subjektive Beurteilung mittels meCUE- Fragebogen	111
6.5.2.	Leistung bei Gamification-Aufgaben	114
7.....	Diskussion	118
7.1.	Diskussion der Untersuchungsmethodik	118
7.1.1.	Diskussion zur Messmethodik	118
7.1.2.	Diskussion zum Versuchsaufbau	122
7.2.	Diskussion der Fahrversuchsergebnisse	124
7.2.1.	Diskussion der mentalen Beanspruchung	124
7.2.2.	Diskussion der psycho-physiologische Müdigkeitskennwerte	126
7.2.3.	Diskussion der Vigilanz	129
7.2.4.	Diskussion der Fahrleistungskennwerte	130
7.3.	Diskussion des Nutzungserlebens	132
7.4.	Beantwortung der Forschungsfragen	134
8.....	Fazit und Ausblick	137
	Abbildungsverzeichnis	139
	Tabellenverzeichnis	143
	Literaturverzeichnis	147
	Anhang	168
	Anhang 1: Ablaufplan und Versuchsanweisungen für den Versuchsleiter	168
	Anhang 2: Streckengrenzen	171
	Anhang 3: Streckenführung	173
	Anhang 4: Fragebogen A nach Versuchsfahrt	175
	Anhang 5: Fragebogen B nach Versuchsfahrt (Version A,B&I)	177
	Anhang 6: Fragebogen C - meCUE Fragebogen (Versuchsleiter Version)	180
	Anhang 7: Vorfragebogen A	186
	Anhang 8: Vorfragebogen B	188
	Anhang 9: Quizfragen des Interaktionssystems	189
	Anhang 10: Wunderlist-Skript für Beifahrerfahrt	190

Anhang 11: Offene Fragen zum Interaktionssystem	192
Anhang 12: Vorfragebogen C	193
Anhang 13: Auswertungsintervalle	195
Anhang 14: Auswertungsintervalle der Querführung	196
Anhang 15: Gleichungssystem Überholvorgang	198
Anhang 16: Vorabanalyse Geschwindigkeitsverlauf nach Änderung der Richtgeschwindigkeit	199
Anhang 17: Auswertungsintervalle der Längsführung	200
Anhang 18: Änderung der SCL über alle Intervalle	200
Anhang 19: Änderung der HR über alle Intervalle	201
Anhang 20: Änderung der SDNN über alle Intervalle	201
Anhang 21: Änderung der Lidschlussfrequenz über alle Intervalle	201
Anhang 22: Durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit über alle Intervalle	202
Anhang 23: Standardabweichung der lateralen Position über alle Intervalle	202
Anhang 24: Antworten auf offene Fragen zur Interaktionssystembewertung	204

1. Einleitung

1.1. Motivation

Die meisten Autofahrer kennen das Gefühl, wenn auf einer Autobahnfahrt plötzlich keine Erinnerung an die letzten Streckenkilometer vorliegt. Doch was sich zunächst anfühlt, als würde das Fahrzeug durch einen selbst wie durch einen Autopilot sicher gesteuert werden, ist tatsächlich ein deutlicher Warnhinweis für aufkommende Müdigkeit und die aufkommende Gefahr des Sekundenschlafs (Poudel, Innes, Bones, Watts & Jones, 2014).

Dieses auch als *Highway Hypnosis* bekannte Phänomen ist bedingt durch monotone und bekannte visuelle Reize, die nahezu automatisch und ohne Reflexion verarbeitet werden. Als monoton gelten im Kontext der Fahrzeugführung lange Autobahnfahrten, Fahrten bei Nacht (Larue, Rakotonirainy & Pettitt, 2011), Fahrten mit geringem Verkehrsaufkommen, mit wenigen Kurven, konstantem Geräuschpegel und ein monotones Umfeld, wie beispielsweise durch Lärmschutzwände und Wüsten umgebende Straßen (Farahmand & Boroujerdian, 2018). Letztlich lässt sich die Unterforderung auf das anhaltende Ausbleiben neuer Reize zurückführen. In der Folge schweift der Fahrer gedanklich von der Fahraufgabe ab. Dabei besteht die hohe Gefahr, dass unerwartete Reize, die nicht in das bekannte Suchmuster fallen, nicht mehr erkannt werden (Wertheim, 1978).

Umfragen bestätigen, dass weit über die Hälfte aller Fahrer mindestens einmal trotz solch deutlicher Anzeichen von Unaufmerksamkeit und Müdigkeit ihre Fahrt fortgesetzt haben (DaCoTA, 2012; Vanlaar, Simpson, Mayhew & Robertson, 2008). Besonders im Straßenverkehr kann das Nicht-Erkennen von plötzlich auftretenden Gefahren jedoch dramatische Folgen mit sich bringen.

12%-25% aller Unfälle können, zumindest in Teilen, auf Fahrermüdigkeit zurückgeführt werden (Dinges, 1995; Klauer, Neale, Dingus, Sudweeks & Ramsey, 2005; Wiegand, Hanowski, Olson & Melvin, 2008). Obwohl Fahrermüdigkeit damit als eine der gefährlichsten und häufigsten Unfallursachen angesehen werden kann, ist sie in der öffentlichen Wahrnehmung lange Zeit nur wenig berücksichtigt worden (Vanlaar et al., 2008). Die Dringlichkeit zur Erforschung von Fahrermüdigkeit wird durch die Tatsache unterstrichen, dass 17 bzw. 24 Stunden ununterbrochene Wachheit nachweislich bereits die gleiche Minderung der Fahrleistung wie 0,5 bzw. 1‰ Blutalkoholgehalt zur Folge haben (Arnedt, Wilde, Munt & MacLean, 2000; Dawson, D. & Reid, 1997; MacLean, Davies & Thiele, 2003).

Mit zunehmendem Technisierungsgrad der heutigen Automobile, werden dem Fahrzeugführer fortwährend immer mehr Aufgaben abgenommen. Beispiele hierfür sind an erster Stelle Assistenzsysteme wie Tempomat, Spurhalte- und Antiblockiersysteme sowie automatische Bremssysteme. Gemessen daran geht die eigentliche Fahraufgabe mit der Zeit und kontinuierlich in ein autonomes Fahren über. Folglich verlassen sich immer mehr Verkehrsteilnehmer auf die im Fahrzeug

implementierten Systeme, was wiederum zu einer geringeren Fokussierung auf die eigentliche Fahraufgabe führt (Young & Stanton, 2007).

Durch technische Maßnahmen, die eigentlich zur Steigerung der Fahrersicherheit implementiert werden, entstehen somit auch neue Herausforderungen für den Fahrer, die seine Sicherheit, womöglich auch in geringerem Maße, verringern können. Als Folge der verminderten geistigen Aktivität durch Automatisierung kann eine Unterforderung beim Fahrer entstehen und dadurch das Risiko auftretender Müdigkeit bei der Fahrzeugführung (May & Baldwin, 2009) in Zukunft sogar noch verstärkt werden (Banks & Stanton, 2019; Steinberger, Moeller & Schroeter, 2016).

Da es in der Übergangszeit bis zur Hoch-Automatisierung von Fahrzeugen erforderlich ist, dass der Fahrer in die Fahraufgabe eingebunden bleibt (SAE, 2014) und da viele Fahrer die Selbstbestimmung bei der Fahrzeugführung schätzen (Bier, Joisten & Abendroth, 2019) besteht die Notwendigkeit einen Weg zu finden, dem Aufkommen von Müdigkeit bei der Fahrzeugführung vorzubeugen und den Fahrer im sogenannten *Loop* zu halten (Gouraud, Delorme & Berberian, 2017). Ein erfolgreicher Ansatz, dies zu erreichen, kann womöglich die Einbindung einer technischen Interaktion zwischen Fahrzeug und Fahrer sein (Large, Burnett, Antrobus & Skrypchuk, 2018; Schömig, Hargutt, Neukum, Petermann-Stock & Othersen, 2015). Der durch technische Maßnahmen entstandenen Herausforderung für den Fahrer wird somit eine weitere, ergänzende technische Maßnahme entgegengesetzt. Dieses Vorgehen erscheint zwar zunächst sehr widersinnig, ist aber letztlich eine erforderliche und iterative Annäherung an die ausgerufene Vision Zero (DVR, 2016).

1.2. Zielsetzung

Um zu verhindern, dass die Leistung des Fahrers konstant abfällt und er letztlich die Fahraufgabe vollständig aus den Augen verliert, ist es das erklärte Ziel der vorliegenden Arbeit, die Fahraufgabe durch neue Reize anzureichern. Es gilt als erwiesen, dass neue Reize bzw. eine Erhöhung der mentalen Beanspruchung (Waard, 1996), wie sie beispielsweise durch Beifahrer geboten werden (Drews, Pasupathi & Strayer, 2008; Vollrath, Meilinger & Krüger, 2002), die Fahrleistung erhöhen. Entsprechend der Studien von Markey, Chin, Vanepps und Loewenstein (2014) müssen Aufgaben vier Aspekte erfüllen, um nicht als monoton zu gelten: Die Herausforderung muss angemessen sein, ein Leistungsfeedback gegeben sein, soziale Anerkennung geboten sein und letztlich ein Anreizsystem für die ausführende Person geschaffen werden.

Mit Hilfe eines entwickelten Interaktionssystems, das diese Aspekte der Aufgabengestaltung durch Gamification (Deterding, Dixon, Khaled & Nacke, 2011) aufgreift, soll untersucht werden, ob eine monotone Hauptaufgabe selbst, in diesem Fall die Fahraufgabe des Fahrers, durch eine Reizanreicherung mittels technischer Interaktion in eine nicht monotone Aufgabe gewandelt werden kann.

Ziel dieser Forschung ist es schlussendlich, die Einflüsse des Systems auf die monotoniebedingte Müdigkeit des Fahrers und damit auch auf seine Fahrleistung und die Fahrsicherheit zu untersuchen. Dabei wird ein Vergleich zur Fahrt mit einer Alleinfahrt hergestellt, um den Verlauf der monotoniebedingte Müdigkeit und deren Auswirkung besser zu verstehen. Außerdem wird ein Vergleich zu einer Beifahrerfahrt als alltägliches, naturalistisches Pendant hergestellt.

Die zu beantwortenden Forschungsfragen lauten:

FF1: Lässt sich Müdigkeit, aufgrund von Monotonie, bei der Fahrzeugführung durch fahraufgabenbezogene Gamification bei Alleinfahrten vorbeugen?

und

FF2: Ist das Interaktionssystem in gleicher Weise wie ein Beifahrer geeignet, Müdigkeit während monotonen Fahrten vorzubeugen?

Es ist unbedingt zu berücksichtigen, dass im Fokus der Forschung die Frage nach der allgemeinen Eignung der technischen, gamifizierten Interaktion zur Vermeidung von Monotonie steht, nicht aber die Entwicklung eines marktreifen Interaktionssystems. Mögliche Verbesserungspotentiale sollen dennoch über eine ergänzende Forschungsfrage offengelegt werden.

Diese lautet:

eFF: Eignet sich die gewählte Gamification der Fahraufgabe, um beim Nutzer ein positives Nutzungserleben hervorzurufen?

1.3. Aufbau der Arbeit

Um die zwei zentralen Forschungsfragen zu beantworten, wird der Einfluss von Interaktionen auf die Fahrermüdigkeit zunächst theoretisch aufbereitet. In einem weiteren Schritt beschreibt die Arbeit die Entwicklung und Erprobung eines Interaktionssystems, das aufbauend auf den aktuellen Erkenntnissen zur Entstehung von Müdigkeit im Straßenverkehr und auf dem aktuellen Erkenntnisstand zur Vermeidung von Müdigkeit durch Interaktion entstanden ist. Anschließend wird die Wirkweise durch eine empirische Studie untersucht und diskutiert.

Die inhaltliche Gliederung der Arbeit ist in Abbildung 1 zusammengefasst.

In Kapitel 2 werden der Begriff der Müdigkeit definiert sowie abgegrenzt und die Ursachen von Müdigkeit aufbereitet. Mit welchen Messmethoden Müdigkeit erfasst werden kann, wird im Anschluss dargelegt. In Abschnitt 2.1.4 wird dann darauf eingegangen, mit welchen Methoden und mit welcher Effektivität Müdigkeit nach dem aktuellen Stand der Forschung bekämpft werden kann.

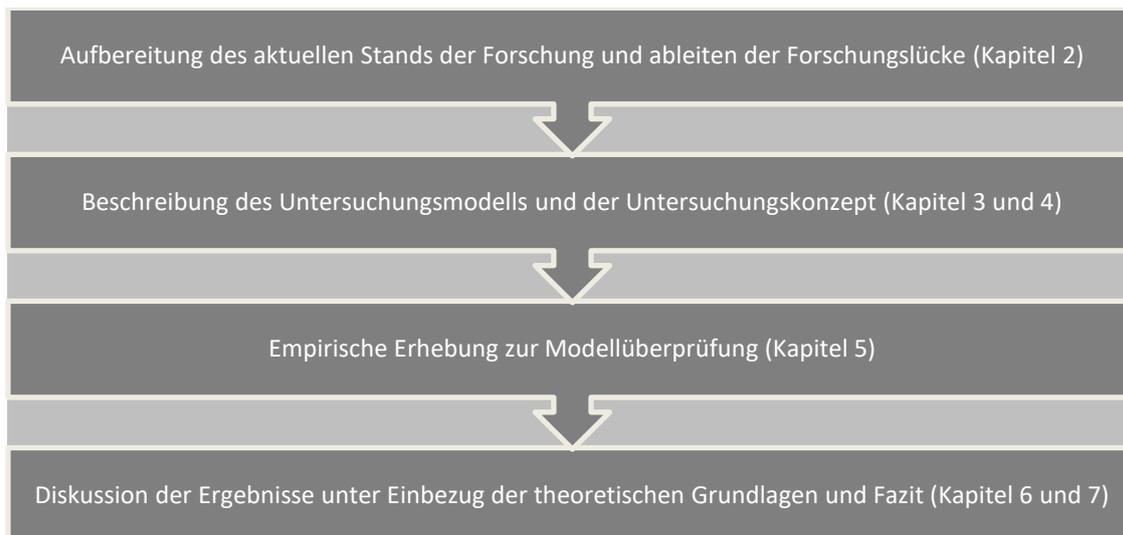


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit

Der Möglichkeit der Monotonie und somit einer der Ursachen für das Aufkommen von Müdigkeit, durch Interaktion, vorzubeugen wird Teilkapitel 2.2 gewidmet. Anhand dieser Grundlagen werden abschließend die Forschungslücke und die Forschungsfragen dieser Arbeit abgeleitet.

In Kapitel 3 wird dann zunächst das Untersuchungsmodell aufgestellt, damit es im weiteren Verlauf die Überlegungen, die Hypothesenbildung und die empirischen Erhebungen und Diskussion strukturiert. Ebenso wird in Kapitel 3 die Entwicklung eines Interaktionssystems beschrieben, das als Untersuchungsgegenstand einen wesentlichen Bestandteil der vorliegenden Forschungsarbeit ausmacht. In Kapitel 4 wird das Untersuchungskonzept erarbeitet, das sowohl die Formulierung von Leithypothesen, die Detaillierung dieser durch statistisch prüfbare Hypothesen, als auch die Beschreibung des Versuchsaufbaus und verwendeten Messmethodik beinhaltet. Zu den einzelnen Bestandteilen der verwendeten Messmethodik werden in Teilkapitel 5.3 jeweils Vergleichswerte aus themenverwandten Publikationen aufbereitet, die zum späteren Zeitpunkt die Diskussion der Ergebnisse unterstützen sollen. In Kapitel 4 werden außerdem die Versuchsdurchführung und das Vorgehen für die Versuchsauswertung beschrieben, um die Grundlage für das Verständnis der Ergebnisanalyse zu schaffen.

Die genannten Ergebnisse der empirischen Studie werden dann in Kapitel 5 vorgestellt. Die Ergebnisvorstellung ist nach den Leithypothesen strukturiert und erfolgt immer und für alle Ergebnisse erst deskriptiv und im Anschluss inferenzstatistisch. Erst dann werden die statistischen Hypothesen, welche die Leithypothesen präzisieren, auf Basis der vorgestellten Ergebnisse geprüft.

Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt in zwei Schritten, so wird in Kapitel 7.1 zunächst die Forschungsmethodik kritisch begutachtet und erst im Anschluss werden, in Kapitel 7.2, die Leithypothesen diskutiert. Kapitel 7 schließt mit der Beantwortung der Forschungsfragen.

Abschließend wird in Kapitel 8 ein Fazit zur Forschungsarbeit gezogen und ein Ausblick auf weitere Entwicklungen und offene Forschungsfragen gegeben.

2. Stand der Forschung

Der Stand der Forschung zu Müdigkeit bei der Fahrzeugführung wird im Folgenden dargelegt, um eine Wissensbasis für spätere theoretische Überlegungen und Forschungsansätze zu schaffen.

Das Kapitel gliedert sich auf, in eine Annäherung an den Begriff und die Problematik der Müdigkeit, sowie den Erkenntnisstand diese adäquat zu bekämpfen.

Im weiteren Verlauf wird insbesondere die Wirkung von Interaktionsformen auf Müdigkeit und Fahrleistung auf Basis der aktuellen Forschung diskutiert, woraus sich letztlich auch die Forschungslücke ableiten lässt.

2.1. Müdigkeit

2.1.1. Modelle zur Müdigkeit

Um den Forschungsansatz dieser Arbeit verständlich zu machen, muss der Begriff der Müdigkeit zunächst für diese Arbeit definiert werden und von den Begriffen der Ermüdung und der Schläfrigkeit abgegrenzt werden.

Aus einer klassischen, arbeitswissenschaftlichen Perspektive (siehe Luczak, 1983) ist Ermüdung das Resultat einer aufgabenbezogenen Dauerbeanspruchung und somit ein reversibler Zustand, der sich je nach Ursache und Art der Beanspruchung physisch und psychisch äußert (siehe Abbildung 2). Nach Schmidtke (1965) lassen sich zusammengefasst vier Entwicklungsstufen der Ermüdung beobachten:

Erstens tritt eine reversible Leistungs- oder Funktionsminderung auf. Zweitens wird das organische Zusammenspiel der Funktionen beeinflusst. Drittens sinkt die Arbeitsfreudigkeit bei einem zunehmenden Anstrengungsgefühl und Viertens kann es schließlich zu einer Störung des Funktionsgefüges der Persönlichkeit kommen. Die vierte Stufe macht deutlich, dass, sofern die Ermüdung über einen langen Zeitraum ignoriert wird, eine Schädigung eintreten kann. Schlussendlich ist damit zumindest die kurzfristige Reversibilität nicht mehr gegeben, sodass geschlossen werden muss, dass im Ermüdungsmodell nach Luczak (1983) eine Rückkopplung von der Ermüdung zur Schädigung sinnvoll wäre.

Im Gegensatz zur Ermüdung steht die Schläfrigkeit.

Die Schläfrigkeit, im Modell von Luczak (1983) als Tagesermüdung bezeichnet, ist nicht auf eine Tätigkeit zurückzuführen und kurzfristig reversibel, sondern geht mit einem Schlafdrang einher. Dieser physiologische Drang zu Schlafen (Peter et al., 2007), im Englischen als *sleepiness* bezeichnet, lässt sich ebenfalls in vier Abstufungen beschreiben: Im Ausgangsstadium besteht der Zustand der vollständigen Wachheit. Danach kommt es zur moderaten Schläfrigkeit, in der die Funktionen des zentralen Nervensystems unter Verzögerungen noch adäquat aufrechterhalten werden. Im Fall der schweren Schläfrigkeit kommt es wiederholt zu Schlafattacken (auch Sekundenschläfen) und Fehlleistungen,

während Leistungen nur noch unregelmäßig erbracht werden. Das letzte Stadium beschreibt den Schlaf, in dem keine Interaktion mit der Umgebung mehr erfolgt.

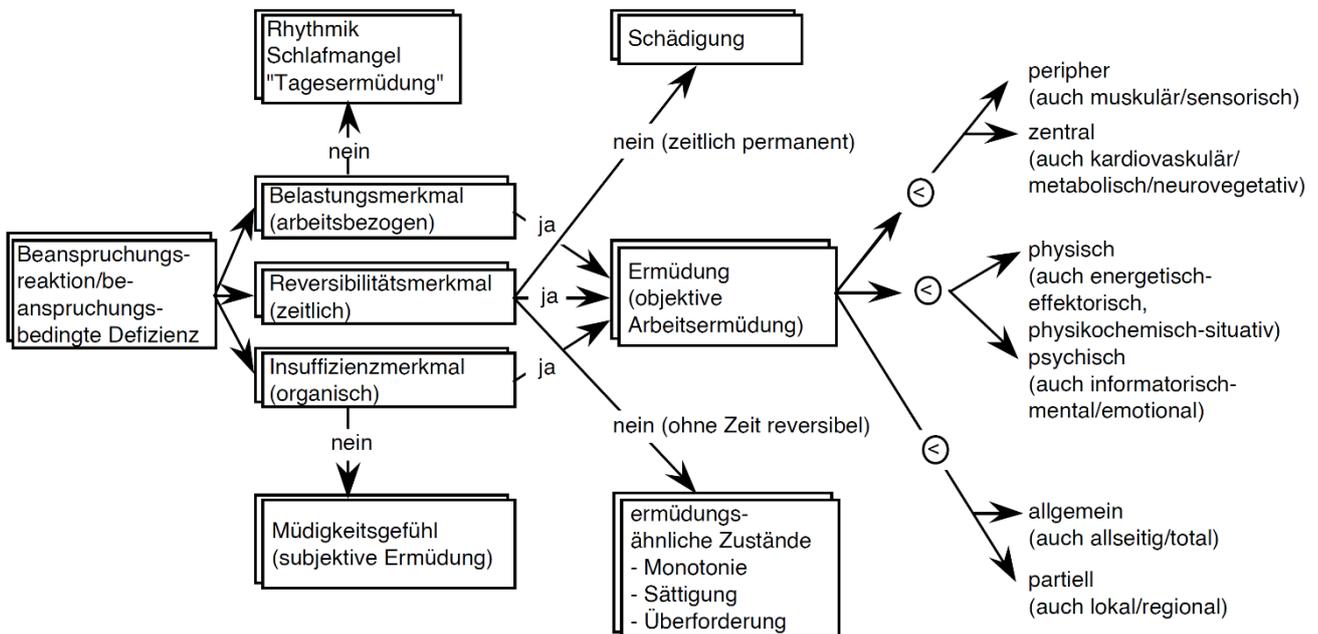


Abbildung 2: Abgrenzungen zum Ermüdungsbegriff nach Luczak (1983)

Die Schläfrigkeit ist zurückzuführen auf den Zirkadianen Rhythmus des Menschen. Als zirkadianer Rhythmus wird der im Menschen dominante Bio-Rhythmus bezeichnet (Schandry, 2011). Dieser weist eine ungefähre 24-stündige Periodizität auf (Abbildung 3), wobei diese in bestimmten Fällen auch auf 25 Stunden ausgedehnt ist (Ebermann & Scheiderer, 2013). Diesem Rhythmus sind eine Reihe körperlicher und psychischer Funktionen entweder synchron oder phasenverschoben unterlegen. Beispiele hierfür sind die Körpertemperatur, die muskuläre Leistungsfähigkeit oder die Aufmerksamkeit (Peter, J., 2007) und auch der Schlaf-Wach-Rhythmus verläuft zirkadian.

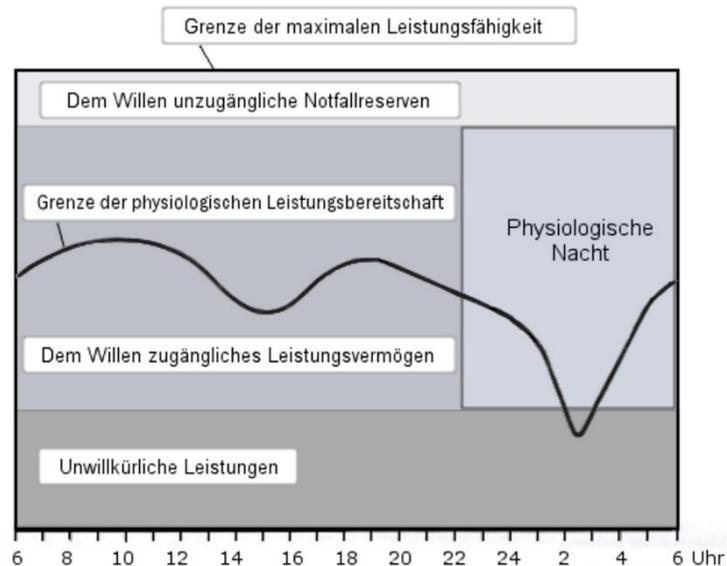


Abbildung 3: Abstrahierte Darstellung des zirkadianen Rhythmus am Beispiel der physiologischen Leistungsbereitschaft (aus Schlick, Bruder & Luczak, 2018)

Den letzten wesentlichen Baustein des Ermüdungsmodells nach Luczak (1983) stellen die ermüdungsähnlichen Zustände dar, die zusammengefasst auf Monotonie, Sättigung und Überforderung zurückgeführt werden. Dabei führt Luczak (1983) nicht weiter aus, welche unterschiedlichen Einflüsse jeweils zu Sättigung und zu psychischer Arbeitsermüdung führen.

Insgesamt zeigt das Modell für diese Untersuchung eine zu deutliche Fokussierung auf die Arbeitsermüdung, in dem Schläfrigkeit und ermüdungsähnliche Zustände nur eine Nebenrolle spielen und auch der Begriff der Müdigkeit findet in diesem Modell kaum Berücksichtigung.

Da jedoch der Begriff der Müdigkeit letztlich allgemein zur Zustandsbeschreibung in variierenden Fällen herangezogen wird (Karrer-Gauß, 2011) und auch die Symptome unabhängig der variierenden Fälle für beispielsweise den Autofahrer identisch sind, soll an dieser Stelle das Müdigkeitsmodell von May und Baldwin (2009) eingeführt werden (Abbildung 4), das sich weniger auf die Unterschiede, als auf die gemeinsamen Folgeerscheinungen von Müdigkeit insbesondere bei der Fahrzeugführung konzentriert.

Müdigkeit als allgemeiner Zustand äußert sich durch Symptome auf physischer und psychischer Ebene. So kommt es physisch zu „Störungen der motorischen und sensomotorischen Koordination, wie einem Abnehmen der Präzision zyklisch wiederkehrender Bewegungen, einem Abflachen der Atmung und einer Veränderung der Herzkreislauf-tätigkeit, wie einer Pulsbeschleunigung oder Abnahme der Pulshöhe“ (Karrer-Gauß, 2011, S.3).

Psychisch treten „Rezeptions-, Wahrnehmungs- und Koordinationsstörungen sowie eine Abnahme der Konzentrations-, Aufmerksamkeits- und Denkfähigkeit, Arbeitsunlust, Reizbarkeit und das subjektive Müdigkeitsgefühl“ (Karrer-Gauß, 2011, S.4) auf.

Die Müdigkeit als solche hängt auch im Modell von May und Baldwin (2009) von verschiedenen Ursachen ab, die einzeln oder auch im Kollektiv vorliegen können. Eine der Ursachen ist die Tageszeit

beziehungsweise ein Schlafentzug, die beim Fahrzeugführer die schlafbezogene Müdigkeit hervorrufen (äquivalent zur Schläfrigkeit), die wie zuvor beschrieben nur durch Schlaf zurückgesetzt werden kann. Im Gegensatz zur Schläfrigkeit kann Müdigkeit aber auch aus der Aufgabe resultieren und zwar sowohl aus einer Überbeanspruchung heraus, als auch aus einer Unterbeanspruchung. Dabei ist die aktive aufgabenbezogene Müdigkeit am ehesten gleichzusetzen mit der Ermüdung nach Luczak (1983). Sie resultiert daraus, dass der Fahrer durch die mental hohe Beanspruchung der Fahraufgabe, zum Beispiel bei schlechtem Wetter oder dichtem Verkehr, mit der Zeit ermüdet und die Fahraufgabe unterbrechen muss.

Dagegen ist die passive aufgabenbezogene Müdigkeit auf eine anhaltende Unterbeanspruchung zurückzuführen, die auf eine monotone Streckenführung, geringe Verkehrsdichte oder auch auf Automatisierung zurückzuführen ist. Reitter (2000) kommt zu dem Entschluss, dass weniger die Monotonie selbst, als der innere Kampf gegen die Monotonie für den Fahrzeugführer ermüdend ist, da er sich ohne äußere Reize beschäftigen muss, allerdings ohne sich dabei zu sehr von der Fahraufgabe abzulenken, um eine Gefahr zu vermeiden.

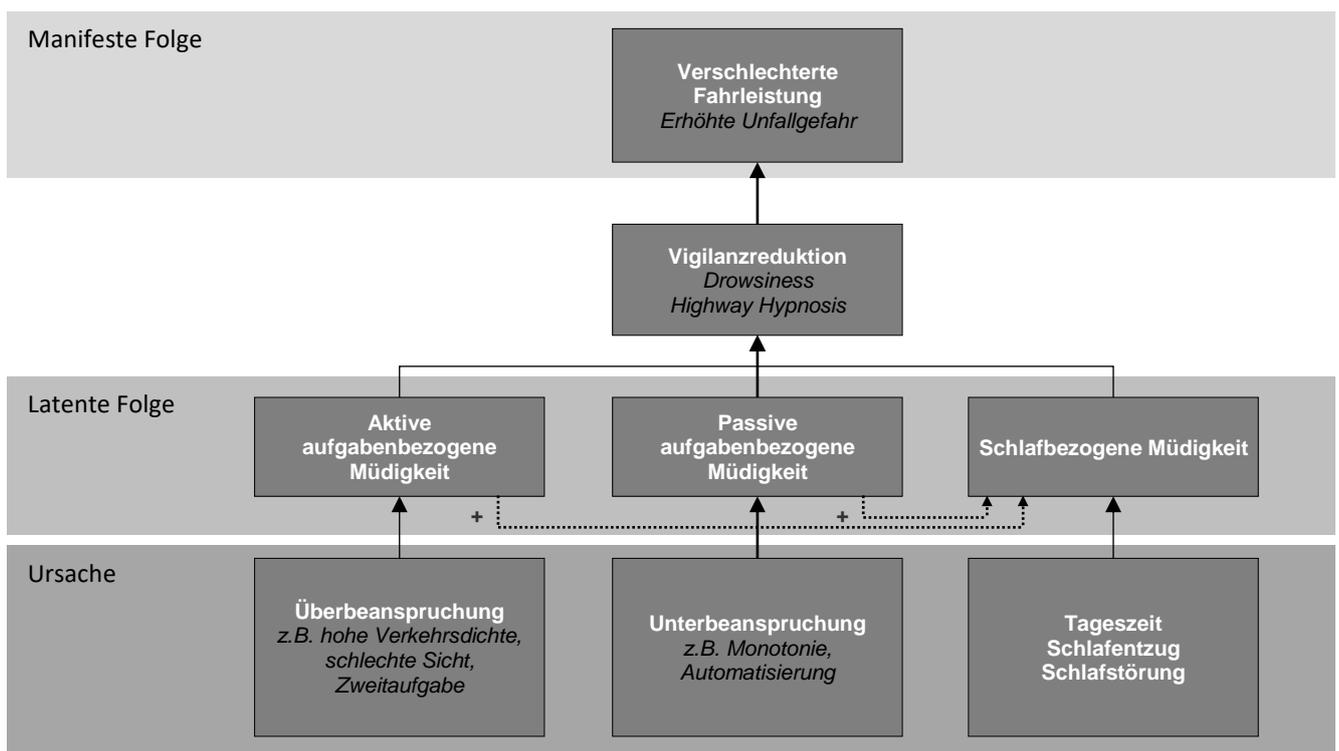


Abbildung 4: Müdigkeitsmodell nach May und Baldwin (2009) erweitert durch Schmidt, E. A. (2010)

Diese dauergerichtete Aufmerksamkeit auf die Fahraufgabe, wird auch als Vigilanz bezeichnet (Greenlee, DeLucia & Newton, 2018; Schlick et al., 2018; vgl. z.B. Weess et al., 2000). Vigilanz dient also zur Beschreibung des Wachheitsgrades und ist dabei meistens an die Ausführung einer Aufgabe gebunden, somit sinkt bei nachlassender Vigilanz auch der Wachheitsgrad.

Allerdings kann der Zustand der geminderten Vigilanz, sofern diese aus aufgabenbezogener Müdigkeit resultiert, schlagartig durch das Ändern der Tätigkeit, des Umfelds oder des Affekts wieder aufgehoben werden (Karrer-Gauß, 2011).

Als *drowsiness* wird im Englischen zusätzlich noch ein Zustand höchster Müdigkeit und als Übergangsstadium zwischen Wachheit und Schlaf beschrieben in dem Sekundenschläfe häufiger auftreten (Poudel et al., 2014).

2.1.2. Monotonie als Einflussfaktor auf die Fahrermüdigkeit

Es ist ersichtlich, dass Entwicklungsarbeiten und Innovationen in der Fahrzeuergonomie nicht darauf abzielen sollten, eine Person, die unter Schlafentzug leidet, zur Fortsetzung der Fahrzeugführung zu motivieren. Müdigkeitssysteme (vgl. Chowdhury, Shankaran, Kavakli & Haque, 2018) weisen den Fahrer vielmehr darauf hin, dass die Fahrt unterbrochen werden sollte und der Fahrzeugführer Erholung in einem Kurzschlaf suchen sollte. Grundlage für eine solche Einschätzung bilden bestimmte Verhaltensmerkmale des Fahrers, die vom Fahrzeug analysiert werden.

Erstrebenswert wäre jedoch der Ansatz, die Müdigkeit, zumindest sofern diese aufgabenbezogen ist, erst gar nicht aufkommen zu lassen. Im Sinne des Modells von May und Baldwin (2009) müsste folglich verhindert werden, dass der Fahrer durch die Fahraufgabe über- oder unterfordert wird.

Die Überforderung wird durch zahlreiche Assistenzsysteme und Warnsysteme eingedämmt, wie ein Forschungsreview von Yue, Abdel-Aty, Wu und Wang (2018) belegt.

Die Unterforderung hingegen spielte bislang eine untergeordnete Rolle in der Forschung und Entwicklung (Burdett, Charlton & Starkey, 2018) und wird nur von wenigen Publikationen adressiert (z.B. von Winner, Hakuli, Lotz & Singer, 2015).

Wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, gibt es eine unmittelbare Verbindung zwischen dem Begriff der Müdigkeit und dem der Monotonie. Psychische Ermüdung als „*Müdigkeit mit Langweile*“ (Reitter, 2000, S. 33) geht mit einem Zustand der Erschöpfung und des Leistungsabfalls einher.

In der Psychologie wird Monotonie als spezifische Beanspruchungsfolge, die sich als Zustand herabgesetzter psychophysischer Aktiviertheit zeigt (Ulich, 1994), verstanden. Das Empfinden von Monotonie wird oftmals wie folgt beschrieben (Hacker & Richter, 1984):

- Ein Erlebnis wird als reizlos, eintönig, öde, langweilig und stumpfsinnig erlebt.
- Die Zeit vergeht nicht oder subjektiv nur sehr langsam.
- Apathie und Gleichgültigkeit stellt sich ein.
- Eine Ermüdung mit daraus resultierender Schläffheit stellt sich ein.
- Die Aufmerksamkeit lässt nach.

Monotonie entsteht durch lang andauernde, sich wiederholende Tätigkeiten, kurze Zyklusdauern repetitiver Operationen, soziale Isolierung, unzureichende Möglichkeiten körperlicher Aktivierung und eine Umgebung mit schwachen Lichtverhältnissen (Greschner, 2011).

All diese Verhältnisse sind im Straßenverkehr nichts Ungewöhnliches und besonders auf bekannten Strecken, bei geringem Verkehr oder bei langen Autobahnfahrten (Schroeter, Oxtoby, Johnson & Steinberger, 2015) sehr wahrscheinlich.

Besonders gravierend ist der Umstand, dass der Fahrer durch die Unterforderung schon vor dem Einsetzen von Müdigkeit, nicht mehr in der Lage ist, eine gute und sichere Fahrleistung zu erbringen. Nach dem Gesetz von Yerkes und Dodson (1908) ist nämlich eine gewisse Grundbeanspruchung notwendig, damit das Leistungspotenzial ausgeschöpft werden kann (siehe Abbildung 5).

Die Leistungsfähigkeit kann auf zwei Wegen wiederhergestellt werden, zum einen kann die Monotonie, als Ursache für passive Müdigkeit, durch einen Tätigkeitswechsel beseitigt werden (Luczak, 1983; Reitter, 2000; Schmidtke, 1965) und zum anderen kann die Tätigkeit selbst in ihrem Anforderungsniveau gesteigert werden (Waard, 1996). Da Ersteres die Autofahrt stark verzögern kann und somit nicht den primären Lösungsweg darstellt, soll im weiteren Verlauf der Arbeit untersucht werden, wie die Fahraufgabe selbst angereichert werden kann, um Monotonie zu vermeiden. Doch zunächst wird im folgenden Abschnitt auf die Möglichkeiten eingegangen, Müdigkeit beim Fahrzeugführer festzustellen.

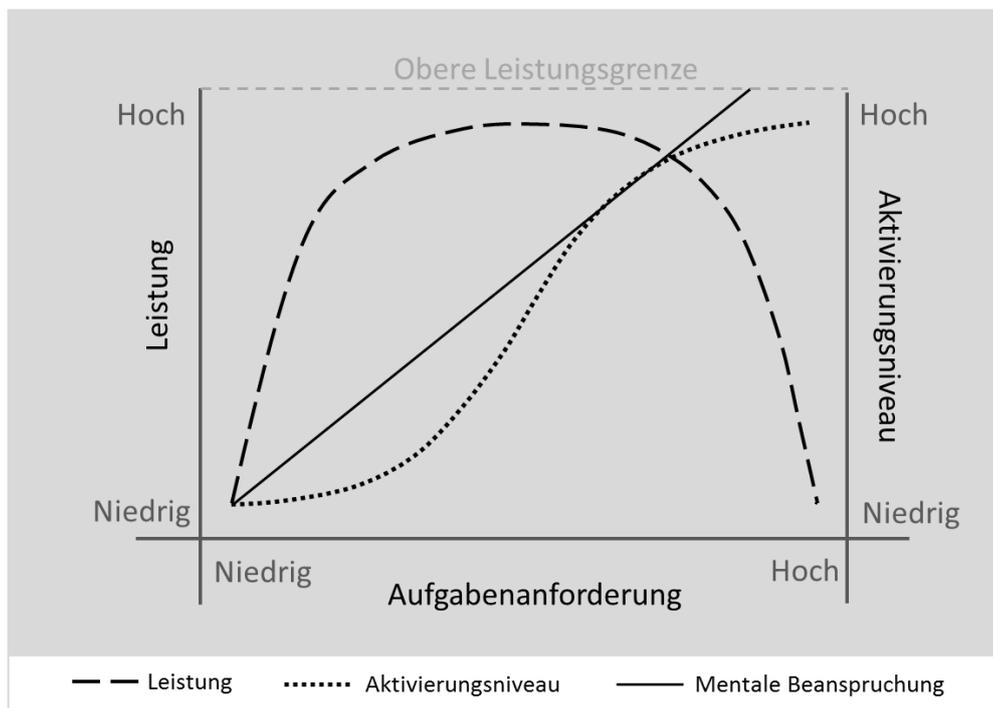


Abbildung 5: Der Zusammenhang zwischen Aktivierungsniveau, mentaler Beanspruchung und Leistung (nach Young, Brookhuis, Wickens & Hancock, 2015)

2.1.3. Messmethoden der monotoniebedingten Fahrermüdigkeit

Zunächst gilt es zu beachten, dass Müdigkeit niemals direkt gemessen wird. Stattdessen wird indirekt anhand körperlicher Symptome oder anhand der Leistung auf Müdigkeit geschlossen (Schlick et al., 2018).

Messmethoden, wie beispielsweise eine Befragung der Versuchsteilnehmer, können in Versuchen zur monotoniebedingten Müdigkeit die Monotonie der Probanden während der Fahrversuche beeinflussen und verzerren. Aus diesem Grund können nicht alle Messmethoden, die allgemein zur Messung von Müdigkeit verwendet werden, bei der Untersuchung der Rolle der Monotonie eingesetzt werden.

Eine systematische Literaturrecherche nach zuvor definierten Kriterien (siehe Abbildung 6) ermöglichte es Publikationen zu identifizieren, die die Messmethodik zur Erhebung der Müdigkeit angemessen beschrieben und bewertet haben. Die Messmethoden wurden auf der Grundlage der von den Autoren veröffentlichten Bewertungen beurteilt, die die einzelnen Methoden verwendeten. Weiterhin wurde der Einfluss der Messmethoden auf ein monotones Studiendesign in Bier, Wolf, Hilsenbek und Abendroth (2018) kritisch diskutiert.

Obwohl in den letzten vier Jahrzehnten sehr viele Testreihen durchgeführt und veröffentlicht wurden, erwiesen sich nur 53 Publikationen als geeignet für eine Beurteilung der Messmethodik (vgl. Bier, Wolf et al., 2018). Nur durch diese Quellen konnten eine adäquate Beschreibung sowie eine Bewertung der angewandten Messverfahren, teilweise in Form einer Ergebnisdiskussion, erfolgen.

Einer der häufigsten Gründe, warum Studien über monotone Müdigkeit eliminiert wurden, war die Tatsache, dass es sich oft um Fahrversuche in der Nacht oder um Fahrversuche mit unter Schlafmangel gesetzten Probanden handelte, um die Auswirkungen der Messung zu verstärken. Auch Studien, die keine Informationen zu den detaillierten Versuchsplänen lieferten, wurden ausgeschlossen. In diesen Fällen musste angenommen werden, dass die gemessenen Effekte nicht allein unter dem Einfluss der Monotonie aufgetreten wären.

Hinsichtlich der Strukturierung der Methoden ist zu erwähnen, dass unterschiedliche Autoren die Messmethoden unterschiedlich klassifizieren (García, Bronte, Bergasa, Almazán & Yebes, 2012; Sahayadhas, Sundaraj & Murugappan, 2012; Wright, Stone, Horberry & Reed, 2007). Da sich die Einteilungen inhaltlich zwar kaum unterscheiden, sie aber unterschiedlich benannt sind, werden die Kategorien von Sahayadhas et al. (2012) übernommen; zusätzlich werden die benannten Kategorien dieser Publikation übergeordnet nach Zustandsdaten und Leistungsdaten unterschieden (siehe Abbildung 7).

Objektive und subjektive Kenngrößen sind unter der Rubrik „Zustandsdaten“ eingeordnet, da sie die körperliche Verfassung des Fahrers widerspiegeln. Fahrzeugdaten und Sekundäraufgaben beziehen sich hingegen auf den Output menschlichen Handelns und bilden deshalb die Gruppe der „Leistungsdaten“.

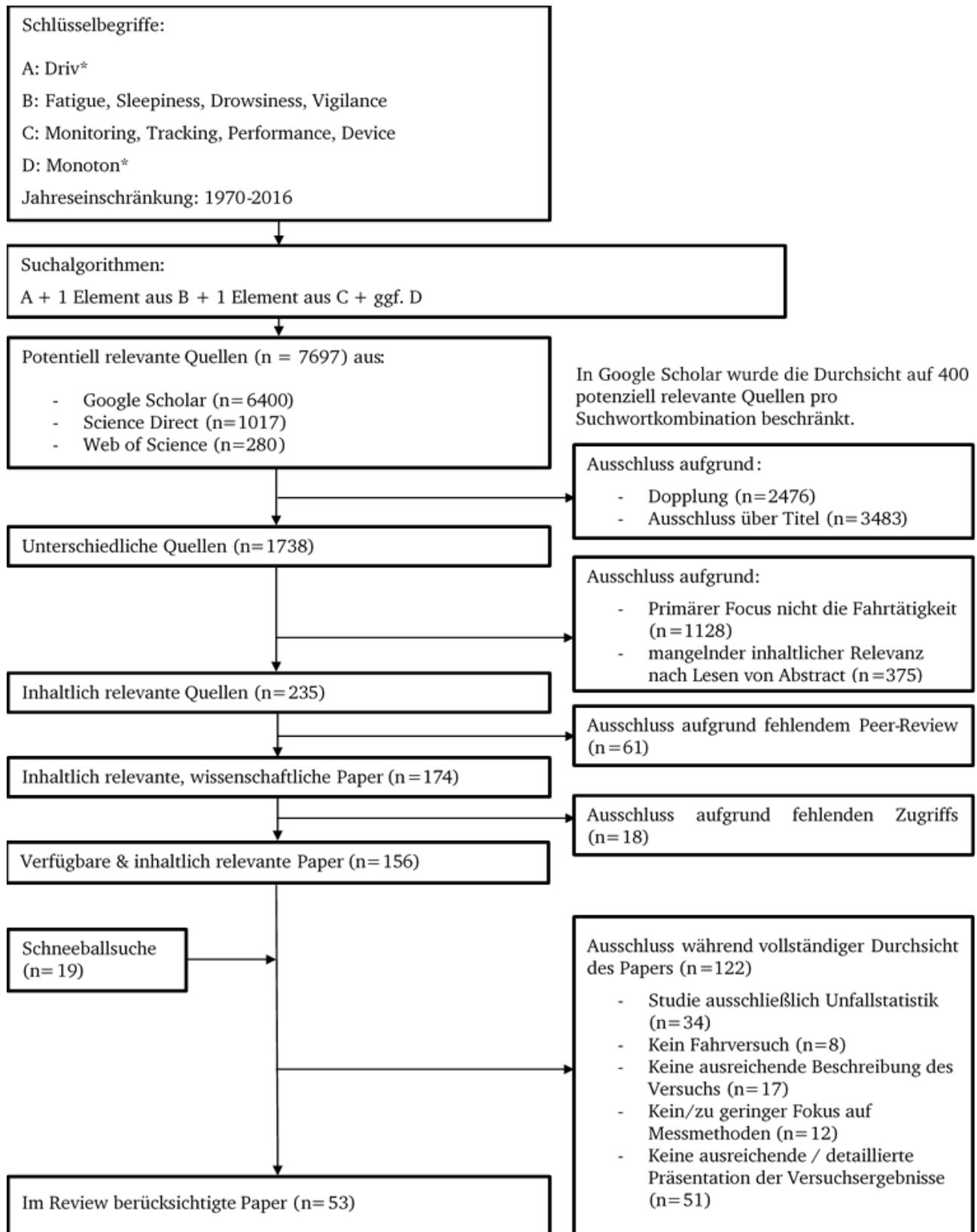


Abbildung 6: Flussdiagramm der Literaturrecherche nach definierten Such- und Ausschlusskriterien (vgl. Bier, Wolf et al., 2018)

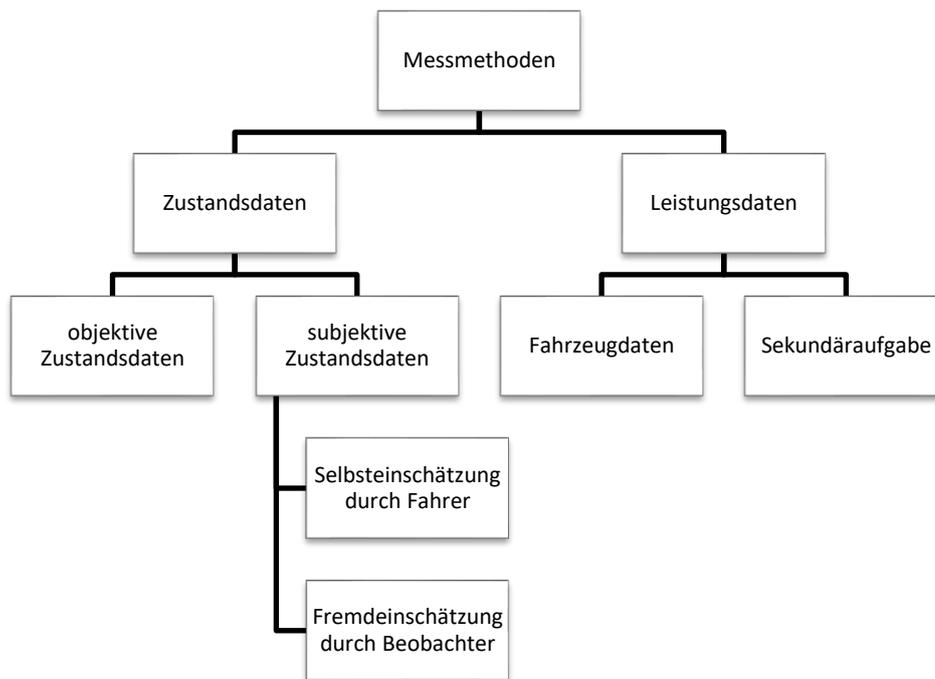


Abbildung 7: Kategorien von Messmethoden zur Ermittlung von Müdigkeit bei der Fahrzeugführung (vgl. Bier, Wolf et al., 2018; Sahayadhas et al., 2012)

Zunächst wird nun auf das Studiendesign eingegangen, da dieses die Auswahl der Messmethodik beeinflusst. Die Versuchsszenarien wurden größtenteils simuliert (siehe Abbildung 8). Rund 85% der Forschung wurde in einem Fahrsimulator durchgeführt und nur 13% im Realverkehr. Vor dem Hintergrund des hohen Unfallrisikos bei der Durchführung der Fahraufgabe unter Müdigkeit ist diese Verteilung jedoch durchaus sinnvoll.

Die Verteilung der Versuchsdauer zeigt zwei Spitzenwerte bei einem Studiendesign um 40 Minuten und über 120 Minuten. Der Grund dafür ist, dass bei Simulatorstudien bereits nach 40 Minuten Ermüdungserscheinungen auftreten (Thiffault & Bergeron, 2003a). Im Zuge der Ermüdungsentwicklung nach 40 Minuten zeigen fast alle Parameter in den Experimenten einen wellenförmigen Verlauf, was darauf hindeutet, dass die Probanden gegen Müdigkeit ankämpfen. Eine Testdauer von mehr als 120 Minuten hingegen sichert die durch Monotonie induzierte Müdigkeit fast aller Probanden.

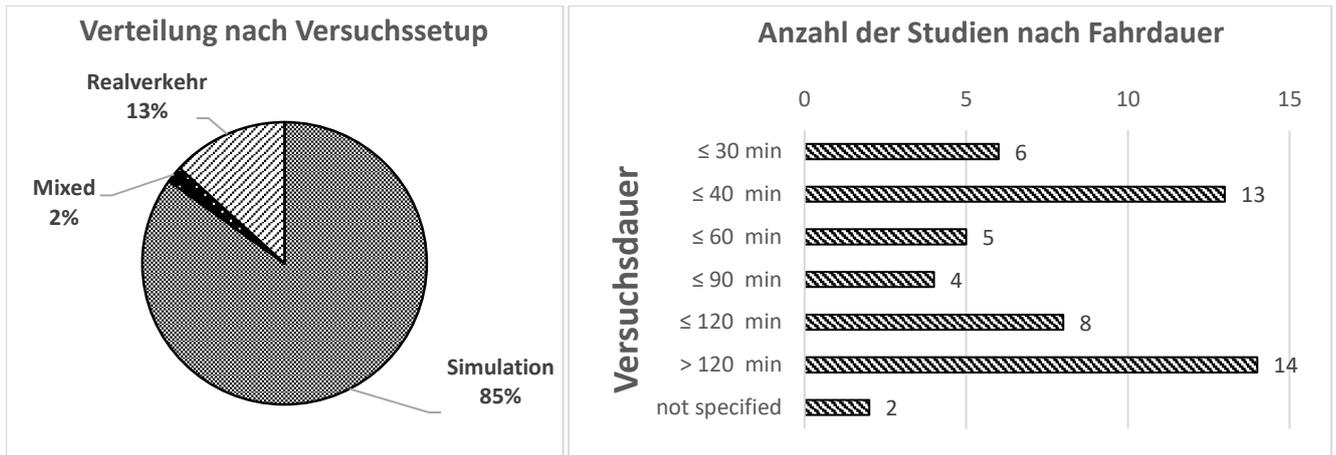


Abbildung 8: Verteilung der Studien nach Versuchssetup (links) und nach Fahrversuchsdauer (rechts; Bier, Wolf et al., 2018)

Welche Messmethoden letztlich in den recherchierten Studien eingesetzt wurden, um die Müdigkeit der Probanden festzustellen, ist in den Spalten von Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Tabellarische Darstellung der Einsatzhäufigkeit und der Bewertung von Messmethoden auf Basis des Literaturreviews von Bier und Wolf et al. (2018)

	Objektive Zustandsdaten												Subjektive Zustandsdaten						Leistungsdaten						
	Gehirnwellenaktivität	Herz-Kreislaufaktivität	Atemfrequenz	Hautleitwert	Bio-Chemische Reaktionen	Blutdruck	Muskelaktivität	PERCLOS	Lidschluss	Pupillengröße	Blickbewegung	Kopfbewegung	Karolinska-Sleepiness-Skala	Stanford-Sleepiness-Skala	Aufmerksamkeits-Skala	Subjective-Driver-Fatigue-Score	Epworth-Sleepiness-Skala	Visuelle Analog Skala	Verhaltensbeobachtung	Spurhaltung	Geschwindigkeit	Time-To-Line-Crossing (TLC)	Abstandhaltung	Lenkbewegungen	Sekundäraufgaben
+	11	9	2	2	0	1	0	6	10	3	2	4	14	4	2	0	5	2	4	32	10	4	2	10	10
o	4	5	0	3	0	0	4	0	1	0	1	2	1	1	1	1	0	1	0	6	7	0	1	7	5
-	2	0	0	1	2	1	0	2	1	0	0	0	2	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	2	3
∑	17	14	2	6	2	2	4	8	12	3	3	6	17	6	4	1	5	4	4	39	18	4	3	19	18

„+“ positiv beurteilt „o“ keine Beurteilung abgegeben/ möglich „-“ negativ beurteilt

In den Zeilen sind die Anzahlen an Studien aufgelistet, die die Messgrößen verwendet und bewertet haben. In der Tabelle kennzeichnet ein „+“-Zeichen eine positive, ein „o“-Zeichen eine neutrale und ein „-“ -Zeichen eine negative Bewertung der Größe durch die Autoren. Die blau hinterlegten Spalten heben die Methoden hervor, die auf Basis der Diskussion in Bier und Wolf et al. (2018) für das Messkonzept der vorliegenden Arbeit ausgewählt wurden. Eine ausführliche Beschreibung der ausgewählten Methoden wird in Teilkapitel 5.3 gegeben. Zusätzlich zu diesen Methoden wurde der NASA-TLX zur

Erhebung der mentalen Beanspruchung gewählt und zwei Eigenentwicklungen zur Erhebung der Vigilanz. Die Erhebung der Leistungsdaten wird um die Anzahl der Vorfälle und die Anzahl der Unfälle ergänzt. Die Erklärung und detaillierte Beschreibung der ergänzenden Messmethoden findet sich ebenfalls in Teilkapitel 5.3.

2.1.4. Gegenmaßnahmen zu monotoniebedingter Müdigkeit

Neben der Frage wie Müdigkeit erfasst werden kann, ist die Frage nach der Müdigkeitsbekämpfung für diese Untersuchung von hoher Relevanz.

Maßnahmen gegen Müdigkeit sind bislang nicht technisch in der Automobilindustrie umgesetzt. Derzeit sind seitens der Automobilindustrie lediglich Warnsysteme implementiert, welche die Fahrzeugführer auf einen erhöhten Müdigkeitszustand hinweisen (Chowdhury et al., 2018).

Dennoch gibt es verschiedene Studien, die sich der Müdigkeitsbekämpfung gewidmet haben und den Einfluss verschiedener Gegenmaßnahmen untersucht haben. Grundlegend wird in der Literatur bei Präventionsmaßnahmen immer zwischen Maßnahmen der Verhaltens- und der Verhältnisprävention unterschieden (Cooper, 2000; Schlick et al., 2018)

Verhältnisprävention gegen Müdigkeit erfordert Maßnahmen technischer oder organisatorischer Art, die die Bedingungen für den Fahrer soweit ändern, dass die Fahrsituation keine oder eine vermindert ermüdende Wirkung auf ihn hat. Verhaltensprävention hingegen bezeichnet Maßnahmen, die der Fahrer persönlich ergreift, um seine Müdigkeit zu verhindern.

Studien zur Verhaltensprävention untersuchten die Wirkung von Kurzpausen, Nahrungsaufnahme (Greschner, 2011), Koffeinkonsum (MacLean et al., 2003) und Bewegung (Horne & Reyner, 2001). Bei allen Maßnahmen konnte ein positiver Effekt auf den Ermüdungszustand nachgewiesen werden, allerdings ist zur Durchführung der Maßnahmen entweder eine Unterbrechung der Fahraufgabe notwendig, oder aber sie haben nur eine sehr kurze Wirkungsdauer von 10-20 Minuten (vgl. Greschner, 2011).

Eine Anpassung der Verhältnisse wiederum kann zum Beispiel durch einen hohen Blaulichtanteil bei den Lichteinstellungen (Popp, 2006), durch Temperatureinstellungen (Schmidt, E. & Bullinger, 2017; Temming, 2003) aber auch durch Belüftung (Greschner, 2011) und Beschallung durch Radio und Hörbücher (Anund, Kecklund, Vadeby, Hjälm Dahl & Åkerstedt, 2008; Greschner, 2011; Nowosielski, Trick & Toxopeus, 2018) zu einer Reduktion der messbaren Müdigkeitseffekte führen. Auch hier zeigt sich jedoch, dass zum Beispiel die Verminderung der Temperatur kurzzeitig zu wachern Probanden führen konnte, aber die Müdigkeitseffekte nach nur kurzer Zeit wieder aufgetreten sind. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die eigentliche Aufgabe des Probanden unverändert monoton bleibt und die Anpassung der Umgebung nur für kurze Zeit neue Reize bietet und lediglich reaktiv auf eine bereits aufgekommene Müdigkeit reagiert.

Letztlich besteht noch die Option die Aufgabe des Fahrers dahingehend anzupassen, dass neue Reize gesetzt werden. Dies ist zum einen durch eine Nebenaufgabe möglich oder durch eine Anpassung der Fahraufgabe selbst und wird im nächsten Teilkapitel thematisiert.

2.2. Technische und menschliche Interaktion zur Fahrleistungserhaltung

Eine Möglichkeit der Monotonie entgegenzutreten ist die Beschäftigung mit einer Nebenaufgabe, um dem Ansatz von Yerkes und Dodson (1908) folgend das Erregungsniveau zu erhöhen. Nebenaufgaben können in diesem Zusammenhang verschieden gestaltet werden und sind auf dem heutigen Technikstand durchaus zu automatisieren. In Abschnitt 2.2.1 soll der aktuelle Forschungsstand zum Einfluss von technischen Interaktionen auf die Fahrleistung und auf die mentale Beanspruchung von Fahrern präsentiert werden. In Abschnitt 2.2.2 wird dann die Forschung zur Kommunikation mit einem Beifahrer und deren Auswirkung auf Fahrleistung und mentale Beanspruchung aufgearbeitet.

2.2.1. Nebenaufgaben zur Vermeidung von Monotonie

In diesem Zusammenhang soll unter „Nebenaufgaben“ die Auseinandersetzung mit einem technischen System verstanden werden. Differenziert wird im Weiteren die Interaktion/ Kommunikation und die Gamification, die zunächst zum besseren Verständnis definiert werden.

Begriffsdefinition Interaktion/ Kommunikation

Der Begriff der Interaktion und der Begriff der Kommunikation sind eng miteinander verknüpft. Je nach Definition der Autoren wird die Kommunikation entweder als ein Teil der Interaktion aufgefasst oder die Interaktion als Teil der Kommunikation. In dieser Arbeit soll der Auffassung und Definition von Nerdinger, Blickle und Schaper (2008) gefolgt werden, wonach die Kommunikation eine Teilmenge der Interaktion darstellt. Demnach zeichnen sich Interaktionen lediglich durch eine wechselseitige Einwirkung zwischen Sender und Empfänger aus, wohingegen Kommunikation zusätzlich den Austausch von Informationen mit einer dahinterstehenden Absicht voraussetzt.

Begriffsdefinition Gamification

Gamification bezeichnet zunächst die Einbindung spielerischer Elemente in einen spielfremden Kontext, ohne dass dabei ein eigenständiges Spiel entsteht (Deterding et al., 2011). Generell wird der Begriff verwendet, um die Merkmale eines interaktiven Systems zu beschreiben, die darauf abzielen, die Endnutzer durch den Einsatz von Spielelementen und Mechanik zu motivieren und zu binden (Seaborn & Fels, 2015). Durch diese Definitionen wird deutlich, dass es sich nicht nur um die Form einer Interaktion, sondern auch um eine spezielle Form der Kommunikation handelt. In anderen Kontexten konnte Gamification zu einer allgemeinen Verbesserung der Leistung beitragen, so zum Beispiel im Bildungs- und Gesundheitssektor (Hamari, Koivisto, & Sarsa, 2014; Seaborn & Fels, 2015).

Die Einbindung von spielerischen Elementen im Kontext der Fahrzeugführung ist hingegen weitestgehend unerforscht.

Einfluss von Interaktion, Kommunikation und Gamification auf die Fahraufgabe

Um den Stand der Forschung zu systematisieren, werden im Folgenden die wenigen vorhandenen Studien zum Einsatz von Interaktionen zum Fahrleistungserhalt in der Reihenfolge Interaktionen – Kommunikation – Gamification vorgestellt. Die aggregierte Darstellung erfolgt in Tabelle 2.

Den Einfluss von Interaktionen auf die Fahrleistung in insbesondere monotonen Verkehrssituationen untersuchten Atchley, Chan und Gregersen (2014) mit dem Ergebnis, dass eine nicht kontinuierliche verbale Aufgabe die Fahrleistung der Probanden verbessern kann. Die verbale Aufgabe bestand in ihrem Versuch darin, dass Probanden auf ein von einem Interaktionssystem geäußertes Wort eine Assoziation frei nennen sollten. Die Probanden konnten dabei keine Fehler machen und es gab kein Feedback. Die Studienergebnisse bestätigten frühere Untersuchungen von Atchley und Chan (2011), in denen bereits festgestellt wurde, dass die verbale Aufgabe zeitliche Unterbrechungen aufweisen muss, um nicht selbst ein Teil der Monotonie und damit wirkungslos zu werden.

Des Weiteren zeigen Untersuchungen von Kunar, Carter, Cohen und Horowitz (2008), dass die Aufgabe einer Wortkettenbildung, bei der der letzte Buchstabe eines Wortes den Anfangsbuchstaben des nächsten Wortes definiert, zu langsameren Reaktionszeiten führt. Die Erklärung dafür sehen Atchley et al. (2014) darin, dass die Aufgabe der Wortpaarung im Gegensatz zu einer naturalistischen Kommunikation dazu führt, dass der Proband durch die Priorisierung von Hauptaufgabe und Nebenaufgabe überfordert wird. Takayama und Nass (2008) überprüften, wie auf monotonen Fahrten eine Sprachlernsoftware die Fahrleistung beeinflusst. Dabei war es auch Aufgabe des Probanden, die gelernten Worte korrekt und in korrekter Aussprache wiederzugeben, die Nutzung des Systems impliziert folglich die Absicht eine Sprache zu lernen und zu vermitteln, womit die Voraussetzungen für *Kommunikation* erfüllt sind. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass vor allem müde Fahrer durch die Kommunikation ihre Fahrleistung verbessern konnten. Zu demselben Entschluss kommen Gershon, Ronen, Oron-Gilad und Shinar (2009), die die Probanden während der Fahrt kognitive Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade lösen ließen und Oron-Gilad, Ronen und Shinar (2008), nachdem die Probanden ein Gedächtnisquiz parallel zu Fahraufgabe durchspielten. In der gleichen Versuchsreihe konnte jedoch keine Verbesserung der Fahrleistung durch ein Reiz-Reaktionstest erzielt werden, bei dem die Probanden auf einen visuellen Reiz durch Knopfdruck reagieren mussten. Die Ursache dafür liegt nach Meinung der Autoren in der zu geringen mentalen Beanspruchung durch die Nebenaufgabe.

Ebenfalls als Nebenaufgabe ausgelegt, ließen Verwey und Zaidel (1999) ihre Probanden während der Fahrtätigkeit mit einer Spielbox interagieren, die ihnen Allgemeinwissensfragen stellte. Durch den

Einsatz der Spielbox konnte die subjektive Müdigkeit, die Anzahl an Vorfällen und die Anzahl an Unfällen reduziert werden.

Die Einbindung von spielerischen Elementen in die Fahraufgabe selbst testeten, nach ausführlicher Recherche, erst zwei Studien. Damit ist der Einsatz von Gamification bei der Fahrzeugführung weitestgehend unerforscht. Xie, Chen und Donmez (2016) testeten inwieweit eine Verleihung von Abzeichen für eine hohe visuelle Verkehrsüberwachung bei der Fahrzeugführung das Blickverhalten beeinflusst. Im Ergebnis waren die Probanden mehr motiviert, der Fahraufgabe visuell nachzukommen und es kam zu deutlich weniger Blickabwendungen von der Straße. Besonders interessant war der Vergleich dieser Gamification zu einem Echtzeitfeedback zur Blickabwendung ohne spielerische Elemente, bei dem die Probanden nur eine Warnung erhielten, wenn sie den Blick von der Straße richteten, denn mit dieser Maßnahme konnten keine positiven Effekte im Unterschied zur Kontrollgruppe ohne Feedback erreicht werden.

Letztlich untersuchte Steinberger, Schroeter und Watling (2017) ein Gamification-Konzept, das die Langeweile (Boredom) bei der Fahrzeugführung durch ein Punktesystem für besonders akkurate Geschwindigkeitseinhaltung unterdrücken sollte. Probanden erhielten auf einem Head-Up-Display (HUD) bei einer Änderung der Richtgeschwindigkeit ein Feedback über ihre aktuelle Abweichung der gefahrenen Geschwindigkeit zur Richtgeschwindigkeit, je schneller und genauer die Anpassung erfolgte, desto mehr Punkte konnten die Probanden erreichen. Die Einführung des Systems führte zu einer besseren allgemeinen Geschwindigkeitseinhaltung.

Hinzuzufügen ist, dass in beiden Studien die Fahrtzeit mit 8 beziehungsweise 20 Minuten pro Durchlauf sehr kurz gewählt war und letztlich keine Rückschlüsse auf die Monotonie-Entwicklung zulässt.

Tabelle 2: Stand der Forschung zum Einfluss der Interaktion, Kommunikation und Gamification auf die Fahrleistung bzw Müdigkeit

Spezifität	Quelle	Aufgabe	Wirkung
Interaktion	Atchley et al. (2014)	Niederschwellige, verbale Aufgabe	Verbesserte Spurhaltung, Erhöhte Wachsamkeit
	Atchley & Chan (2011)	Niederschwellige, verbale Aufgabe - kontinuierlich und diskontinuierlich	Verbesserte Fahrleistung (Spurhaltung)
	Kunar et al. (2008)	Wortkettenbildung	Verminderte Reaktionszeit
Kommunikation	Takayama & Nass (2008)	Sprachlernsoftware	Verbesserte Fahrleistung (unspezifiziert)
	Gershon et al. (2009)	Unspezifische, kognitive Aufgabe	Verbesserte Fahrleistung (Geschwindigkeit und Spurhaltung)
	Oron-Gilad et al. (2008)	Reiz-Reaktionstest und Gedächtnisquiz	Verbesserte Fahrleistung (Spurhaltung und Geschwindigkeit)
	Verwey & Zaidel (1999)	Allgemeinwissensquiz	Geringere subjektive Müdigkeit Weniger Vorfälle und Unfälle
Gamification	Xie et al. (2016)	Abzeichen für Blickverhalten	Weniger gefährliche Blickabwendung
	Steinberger et al. (2017)	Punktesystem für Geschwindigkeitseinhaltung	Verbesserte Fahrleistung (Geschwindigkeit)

2.2.2. Beifahrer-Kommunikation als Exempel

Eine weitere Form der Kommunikation und somit auch der Interaktion stellt das Gespräch mit einem Beifahrer dar. Diese nicht technische Form der Kommunikation nimmt im Straßenverkehr eine alltägliche Rolle ein. Der Besetzungsgrad für Fahrzeuge im deutschen Straßenverkehr liegt seit 2002 durchgängig bis heute bei ungefähr 1,5 Personen pro Fahrzeug (BMVI, 2018), wobei dieser Besetzungsgrad bei Dienstfahrten mit 1,1 (BMVI, 2010) deutlich niedriger liegt. Da die Beifahrerfahrt einen Gegensatz zur monotonen Alleinfahrt (Greschner, 2011) stellt, soll sie im Verlauf der weiteren Untersuchung als Vergleich und Vorbild gelten.

Es gibt eine Vielzahl von Studien zu den Effekten eines Beifahrers auf die Fahrtüchtigkeit und Fahrleistung von Verkehrsteilnehmern, die in diesem Abschnitt auszugsweise vorgestellt und zusammengefasst werden sollen.

Grundsätzlich kann der richtige Beifahrer zu einer Reduktion des Unfallrisikos beitragen (Vollrath et al., 2002), beispielsweise senken weibliche Beifahrer das Unfallrisiko stärker als männliche Beifahrer (Ouimet et al., 2010). Diese Erkenntnisse werden aber bei weitem nicht durch alle Studien einstimmig unterstützt. Unterschiedliche Untersuchungen sprechen den Beifahrern teilweise einen positiven und teilweise einen negativen Einfluss zu. In Abbildung 9 sind diese Einflüsse, sofern in den Studien differenziert, zusammengetragen und strukturiert nach der Relevanz für den Vergleich zu einem technischen Interaktionssystem. So sind manche Einflüsse positiv und mit einem technischen Interaktionssystem abzubilden, andere sind positiv jedoch nicht durch eine Interaktion mit einem

technischen Gerät zu verwirklichen. Wieder andere Einflüsse sind zwar negativ, betreffen aber nicht technische Systeme. Zuletzt gibt es noch Einflüsse, die negativ sind und auch durch ein technisches System verursacht werden könnten, weswegen darauf geachtet werden muss, diese Einflüsse explizit zu vermeiden.

Positive Einflüsse – reproduzierbar:

Zunächst durchbricht der Beifahrer, sofern es zu Gesprächen kommt, die Monotonie (Greschner, 2011) und regt den Fahrer dadurch an, unterschiedliche Sinnesmodalitäten zu verwenden, was wiederum selbstaktivierende Prozesse auf Seiten des Fahrers verursacht, da die empfundene *Langeweile* reduziert wird (vgl. Hacker & Richter, 1984).

Darüber hinaus kann der Beifahrer den Fahrer in Gefahrensituationen unterstützen, beziehungsweise den Fahrer auf Gefahrensituationen hinweisen, die der Fahrer gegebenenfalls nicht wahrgenommen hat (Hanks, Driggs, Lindsay & Merrill, 1999). Technische Systeme, die den Fahrer vor Gefahren warnen und auch aktiv, zum Beispiel durch Notfallbremsungen, unterstützen, sind keine Neuheit und können und sollten mit einem zukünftigen Interaktionssystem verbunden sein.

Als weiteren positiven Einfluss heben Bach und Müller (1981) die gesteigerte Motivation beim Fahrer hervor, die dadurch verursacht wird, dass der Fahrer nach Anerkennung für seine Fahrweise beim Beifahrer sucht. Diese Anerkennung beziehungsweise ein Feedback ist ein Grundprinzip der Gamification und sollte folglich durch eine technische Interaktion realisierbar sein.

Ebenso wichtig wie die Unterstützung in Gefahrensituationen ist der Umstand, dass Beifahrer häufig den Zustand des Fahrers bewerten und ihn im Zweifel auf die Notwendigkeit einer Pause hinweisen (Hanks et al., 1999; Regan & Mitsopoulos, 2001). Auch diese Funktion ist bereits in heutigen Fahrzeugen durch technische Überwachungssysteme abgedeckt. Einen Überblick über die verschiedenen Zustandsassistenten der Automobilhersteller und ihrer Funktionsweise geben Chowdhury et al. (2018). Eine Anbindung an ein Interaktionssystem sollte ebenfalls schon in der Entwicklungsphase Berücksichtigung finden.

Zuletzt erhöht der Beifahrer nach Untersuchungen von Brookhuis, Vries und Waard (1991) und Recarte und Nunes (2003) die mentale Arbeitslast. Was im ersten Moment negativ klingt, ist in monotonen Situationen jedoch erwünscht, da eine gewisse Grundbelastung notwendig ist, damit der Fahrer in der Lage ist, sein volles Leistungspotenzial abzurufen (vgl. Waard, 1996). Auch dieser Einfluss soll bei der Entwicklung des Interaktionssystems Berücksichtigung finden und es soll untersucht werden, ob die mentale Beanspruchung der Probanden durch ein Interaktionssystem gesteigert werden kann.

Positive Einflüsse – nicht reproduzierbar:

Zu den Einflüssen, die einem Beifahrer zugeschrieben werden, aber nicht technisch umgesetzt werden können, zählt beispielsweise der Schutzeffekt (Engström, Gregersen, Granström & Nyberg, 2008). Dieser beschreibt die Intention des Fahrers, den Beifahrer durch seine Fahrweise nicht zu gefährden und somit besonders besonnen seinen Zustand und seine Fahrweise einzuschätzen. Überwiegend tritt dieses Phänomen bei erfahrenen Fahrern beziehungsweise Eltern auf. Es ist auszuschließen, dass ein Fahrer ein solches Schutzbedürfnis für ein technisches Interaktionssystem entwickeln wird.

Ebenso können durch das Interaktionssystem keine Ergänzungsaufgaben übernommen werden, die von der Fahraufgabe gelöst sind, hierzu zählen beispielsweise das Anreichen von Getränken oder das Bedienen des Radios (Bach & Müller, 1981).

Nach Greschner (2011) trägt auch die Zustandsveränderung eines Beifahrers zu einer Selbstreflexion des Fahrers bei. Insbesondere wenn der Beifahrer nach und nach stiller wird und das Reden einstellt, kann es dazu kommen, dass der Fahrer seine Fahrweise kritisch reflektiert. Leider kann auch dieser Einfluss eines Beifahrers nicht technisch abgebildet werden.

Negative Einflüsse – technisch irrelevant:

Die negativen Einflüsse des Beifahrers, die jedoch keine technische Relevanz haben, sind zum einen das unangemessene Verhalten (Regan & Mitsopoulos, 2001) und zum anderen die reine Ablenkung durch die physische Präsenz (Bach & Müller, 1981; Ouimet et al., 2015). So wird ein Interaktionssystem weder das Fenster ohne Zustimmung des Fahrers öffnen und damit eine vom Straßenverkehr ablenkende Reaktion provozieren, noch wird es die Sicht auf Querstraßen durch einen Körper blockieren.

Negative Einflüsse – technisch relevant:

Einflüsse des Beifahrers, die negativer Natur sind, können jedoch auch Anregung bieten, die die Entwicklung eines sicheren Interaktionssystems unterstützen. So ist bei der Kommunikation mit einem Beifahrer ein gelegentlicher Augenkontakt durchaus üblich (Atchley, Dressel, Jones, Burson & Marshall, 2011), was wiederum die visuelle Aufmerksamkeit auf die Fahrzeugumgebung verringert (vgl. Kahneman, Beatty & Pollack, 1967). Eine entsprechende sinnvolle Auswahl der Interaktionskanäle und der Platzierung von Benutzeroberflächen ist folglich bei der Entwicklung eines Interaktionssystems zu beachten.

Verknüpft sind die Erkenntnisse, dass Beifahrer zu einer Senkung des Situationsbewusstseins beitragen können (Heenan, Herdman, Brown & Robert, 2014) und dass die Reaktionszeit von Fahrern auf Gefahrensituationen erhöht sein kann (Caird, Willness, Steel & Scialfa, 2008), da ersteres letzteres wahrscheinlich bedingt. Dies lässt den Schluss zu, dass es sinnvoll ist, die Fahraufgabe in die Interaktion einzuschließen, um eine Ablenkung von der Fahraufgabe durch die Interaktion zu vermeiden.

Ferner ist ein Grund für einen Anstieg von Unfallzahlen durch Beifahrer die emotionale Aufladung, denn wenn Gespräche in eine Diskussion und womöglich einen Streit umschlagen, kann der Beifahrer eine große Unfallgefahr durch Ablenkung darstellen (Ellinghaus & Schlag, 2001). Für Interaktionssysteme kann daraus geschlossen werden, dass sie für den Fahrer nachvollziehbar gestaltet sein müssen, um Ärger bei der Bedienung und beim Umgang zu vermeiden.

Der letzte Einfluss steht im Gegensatz zu den Erkenntnissen, dass die Anwesenheit von Beifahrern zu einer schützenden Fahrweise führen. Mehrere Studien belegen, dass vor allem jüngere Fahrer durch Beifahrer einen Leistungsdruck verspüren, der auch durch ein Imponiergehabe gesteigert wird und letztlich zu erhöhten Unfallzahlen führt. Dieser Effekt wird bei Fahranfängern mit steigender Passagierzahl sogar verstärkt (Doherty & Andrey & Gregor, 1998; Ingham, 1991; Lee, C. & Abdel-Aty, 2008; Simons-Morton et al., 2011). Im Umkehrschluss muss darauf geachtet werden, dass gerade wenn die Fahraufgabe in die Interaktion eingebunden wird, eine besonders regelkonforme Fahrweise belohnt wird.

Die genannten Einflüsse auf den Fahrer und deren Bedeutung für die Entwicklung eines Interaktionssystems, sind in Abbildung 9 dargestellt. Ein „+“ steht für einen positiven Einfluss und ein „-“ für einen negativen Einfluss. Einflüsse, die die Systemgrenze des Interaktionssystems nicht überschreiten, brauchen, entsprechend obiger Erläuterung, bei der Entwicklung eines Interaktionssystems nicht weiter berücksichtigt werden.



Abbildung 9: Einflüsse des Beifahrers auf den Fahrer und deren Relevanz für den Vergleich zu technischen Interaktionssystemen

2.3. Identifizierung der Forschungslücke und Ableiten der Forschungsfragen

Zusammenfassend ist zu resümieren, dass Interaktionen einen guten Ansatz darstellen die Fahrleistung zu erhöhen. Die Erkenntnisse aus den unterschiedlichen Studien zu der Wirkung von Interaktionen bestätigen die über 100 Jahre alte Theorie von Yerkes und Dodson (1908), nach der es wichtig ist, dass der Mensch mental nicht unterfordert ist, um Leistung erbringen zu können. Durch Interaktionen kann dieses erforderliche mentale Belastungsniveau erreicht werden, sofern die mentale Belastung aus der Fahraufgabe nicht ausreichend ist. Da jedoch eine Nebenaufgabe eine Ablenkung darstellen kann, sollte eine Interaktion einen Fahraufgabenbezug aufweisen, um das Risiko im Straßenverkehr zu minimieren. Erste Untersuchungsergebnisse zum Einsatz von Gamification zeigen, dass Interaktionssysteme mit spielerischen Elementen einen Lösungsansatz darstellen können, welcher jedoch lediglich für das Blickverhalten und die Geschwindigkeitseinhaltung in zusätzlich nur sehr kurzen Versuchen getestet wurde. Notwendig ist folglich die Entwicklung eines umfassenderen Gamificationssystems mit mehr Anbindungen an die verschiedenen Bestandteile der Hauptaufgabe, in diesem Fall der Fahraufgabe, und eine Versuchsreihe mit deutlich längeren Fahrversuchen. Dadurch kann, entgegen den in Abschnitt 2.1.4 vorgestellten Maßnahmen, Müdigkeit nicht nur bekämpft, sondern deren Entstehung verhindert werden, da die Ursache für die Müdigkeit, nämlich die Monotonie, reduziert wird.

Zur Evaluation der Wirksamkeit bietet es sich weiterhin an, die Nutzung eines zu entwickelnden Interaktionssystems mit der Kommunikation mit einem Beifahrer während der Fahrzeugführung zu vergleichen, da Beifahrer, wenn sie mit dem Fahrer nicht in kritischer Diskussion stehen, einen positiven Effekt auf die Fahrzeugführung haben und da es sich des Weiteren bei der Beifahrerfahrt um eine alltägliche Vergleichssituation handelt.

Aus den Ausführungen in Kapitel 2 und vor dem Hintergrund der Zusammenfassung im vorangegangenen Absatz ergeben sich die folgenden Forschungsfragen:

FF1: Lässt sich Müdigkeit, aufgrund von Monotonie, bei der Fahrzeugführung durch fahraufgabenbezogene Gamification bei Alleinfahrten vorbeugen?

und

FF2: Ist das Interaktionssystem in gleicher Weise wie ein Beifahrer geeignet, Müdigkeit während monotonen Fahrten vorzubeugen?

Die erste Forschungsfrage adressiert die Frage, ob Fahrer, vor allem auf Alleinfahrten und bei einer Zunahme der Monotonie, durch künftige technologische Entwicklungen, durch ein technisches System geschützt werden können. Im Fokus steht die Einbindung von Gamification, da durch Gamification die eigentliche Fahraufgabe Hauptaufgabe bleibt und durch neue Reize angereichert wird. Erkenntnisse zu dieser Fragestellung sind nicht auf den Fahrkontext beschränkt, sondern sind auf andere Bereiche und

monotone Aufgaben übertragbar, so zum Beispiel auf die Luftfahrt oder auf Überwachungsaufgaben in der Industrie.

Die zweite Forschungsfrage zieht den Vergleich zur Beifahrerfahrt, da diese ein alltägliches und weit erforschtes Pendant darstellt. Der Vergleich zur Beifahrerfahrt soll daher Verbesserungspotenziale aufdecken und die Qualität eines Interaktionssystems evaluieren.

Als ergänzende Forschungsfrage soll geklärt werden, ob der gewählte Interaktionsansatz in Form von Gamification auch bei den Probanden ein positives Nutzungserleben hervorruft. Die ergänzende Forschungsfrage lautet:

eFF: Eignet sich die gewählte Gamification der Fahraufgabe, um beim Nutzer ein positives Nutzungserleben hervorzurufen?

Diese Ergänzung zu den die Wirksamkeit betreffenden Forschungsfragen 1&2 ist wichtig, da nur ein Produkt, das genutzt wird, auch seine Wirkung entfalten kann.

Um dieses notwendige positive Nutzungserleben beim Nutzer hervorzurufen, sind neben der Funktionalität auch die Ästhetik, die mit dem Produkt verbundenen Emotionen und die Usability eines Produktes entscheidend (Thüring & Mahlke, 2007).

Ferner können, da es sich bei dem verwendeten Interaktionssystem um einen Prototyp handelt, über diese ergänzende Forschungsfrage Verbesserungspotenziale offengelegt werden.

3. Untersuchungsmodell

In diesem Kapitel sollen die grundlegenden Überlegungen aufgezeigt werden, die die Wirkweise und die Entwicklung des Interaktionssystems betreffen, welches den Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit darstellt.

In Kapitel 3 wird in einem Modell dargestellt, wie ein Interaktionssystem in der theoretischen Überlegung der monotoniebedingten Müdigkeit vorbeugen kann. Dieses Modell dient im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit als Untersuchungsmodell.

Den Ausgangspunkt bildet der Mensch, der im Mensch-Maschine-System nach Bubb (1992), durch Wechselwirkungen mit einer Maschine, eine eingehende Aufgabe in ein Ergebnis transformiert. Angewendet auf das Aufgabensystem der Kraftfahrzeugführung, bilden der Mensch und das Fahrzeug dieses System. Die Fahraufgabe ist die Arbeitsaufgabe und die Fahrleistung das Ergebnis des Wechselspiels von Fahrer und Fahrzeug (siehe Abbildung 10). Die Umwelt nimmt in diesem System, sowohl durch Faktoren aus dem Innenraum des Fahrzeugs als auch aus dem Fahrzeugumfeld, Einfluss auf den Fahrer und zu Teilen auf das Fahrzeug. Als Beispiele für äußere Umgebungseinflüsse können die Streckenführung, das Wetter und die Lichtverhältnisse genannt werden und als Beispiel für innere Umgebungseinflüsse kann der Lärm von streitenden Kindern auf der Rückbank genannt werden.

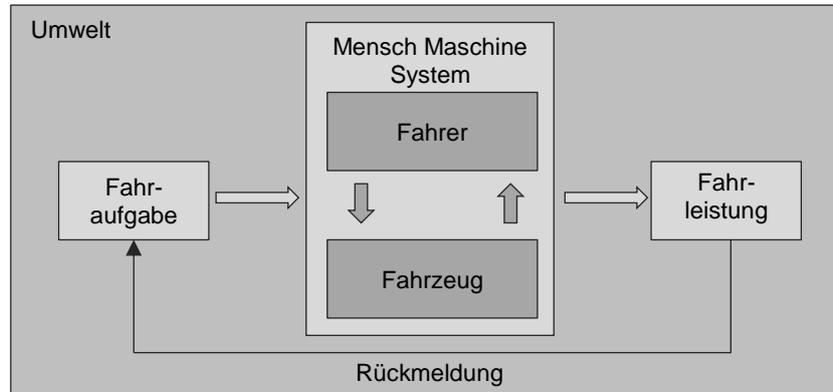


Abbildung 10: Das Mensch-Maschine System nach Bubb (1992) bezogen auf die Fahrzeugführung in Anlehnung an Breuer (1996)

In diesem System und besonders im Fahrversuch sind für unterschiedliche Fahrer die Bedingungen gleich, sodass die Fahraufgabe zusammen mit den Umwelteinflüssen eine Belastung darstellt, die nach dem Belastungs-Beanspruchungskonzept (Rohmert, 1984) unterschiedliche Fahrer unterschiedlich beansprucht. Die Fahrleistung, als Ergebnis der Aufgabenverarbeitung ist somit insbesondere von Disposition, Antrieb und Dauerleistungsgrenze des Fahrzeugführers abhängig (Luczak, 1975).

Wie in Teilkapitel 2.1 erläutert, hat Müdigkeit sowohl einen Einfluss auf die Dauerleistung, im Sinne von Vigilanz, als auch auf den Antrieb, also die Motivation und Konzentration.

Im Untersuchungsmodell soll dieser Zusammenhang durch die Einbindung des Müdigkeitsmodells von

May und Baldwin (2009) in der Version von Schmidt, E. Andreas (2010) verdeutlicht werden (siehe Abbildung 11).

Mit immer neuen Assistenzsystemen versucht die Automobilindustrie den Fahrer immer weiter zu entlasten und so zu einer Vermeidung der Überbeanspruchung beizutragen. Eine Vielzahl an Studien belegt, dass dieser Einsatz von Assistenzsystemen tatsächlich zu einer Entlastung des Fahrers führt und zu einer Senkung des Unfallrisikos beiträgt (Cicchino, 2017; Jermakian, 2011; vgl. u.a. Yue et al., 2018). Dieser Zusammenhang ist im Untersuchungsmodell durch die Verknüpfung von Assistenzsystem und Überbeanspruchung verdeutlicht.

Dennoch birgt die fortlaufende Automatisierung der Fahrzeugführung auch Risiken, denn bis tatsächlich alle Fahrzeuge im Straßenverkehr vollständig autonom fahren, können noch Jahrzehnte vergehen. Solange verbleiben beim Fahrer je nach Automatisierungsgrad unterschiedlich viele Bestandteile der Fahraufgabe (SAE, 2014).

Schon Bainbridge (1983) erkannte, dass sich aus der Automatisierung auch neue Problemstellungen ergeben und formulierte die „*Ironies of Automation*“. Diese besagen im Kern, dass zuerst die Teile einer Aufgabe automatisierbar sind, die der Mensch selbst zu lösen im Stande ist und er letztlich mit weniger Routine die verbliebenen schwierigen Aufgabenteile lösen muss. Hinzu kommt, dass sich die Aufgaben in Überwachungsaufgaben wandeln, die durch Monotonie gekennzeichnet sind.

Genau diese Gefahr der Steigerung der Monotonie (Bubb, 2015) und damit einer Steigerung der Unterbeanspruchung führt auch bei der Fahrzeugführung zu neuen Gefahren (Kyriakidis et al., 2017; Young & Stanton, 2004; Young & Stanton, 2007). Dieser Zusammenhang ist im Untersuchungsmodell durch die Verknüpfung von Assistenzsystem und Unterbeanspruchung verdeutlicht.

Um diesen Entwicklungen entgegen zu wirken, soll ein Fahrerinteraktionssystem entwickelt werden, das die negativen Nebeneffekte der Automatisierung abfängt, ohne den Fahrer durch zusätzliche Aufgaben zu überfordern (roter Pfeil; siehe Abbildung 11). Nachzuweisen durch die vorliegende Arbeit ist der positive Effekt auf die Unterbeanspruchung und in Folge dessen auf Müdigkeit, Vigilanz und Fahrleistung (grüne Pfeile; Abbildung 11).

Da die Interaktion keine reine Nebenaufgabe darstellen soll, um die Fahrer nicht zu überfordern und abzulenken, wird die Interaktion auf die Fahraufgabe selbst Bezug nehmen. Durch diesen Bezug ist, entgegen der Beifahrerinteraktion (Abbildung 12), bei der dieser Zusammenhang nicht gegeben ist, eine direkte Steigerung der Vigilanz zu erwarten, was durch die direkte Verknüpfung zwischen Fahrerinteraktionssystem und Vigilanz im Untersuchungsmodell zum Ausdruck gebracht wird.

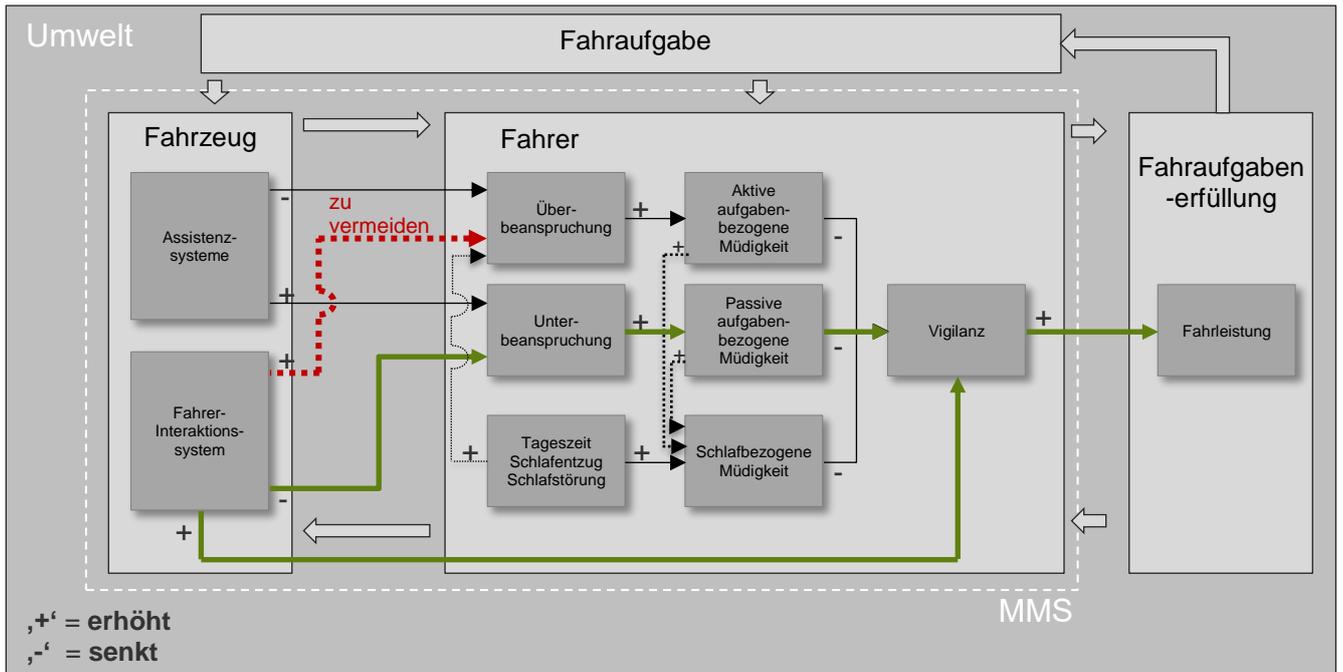


Abbildung 11: Untersuchungsmodell zur Wirkweise des Fahrerinteraktionssystems (Bier & Bruder, 2017)

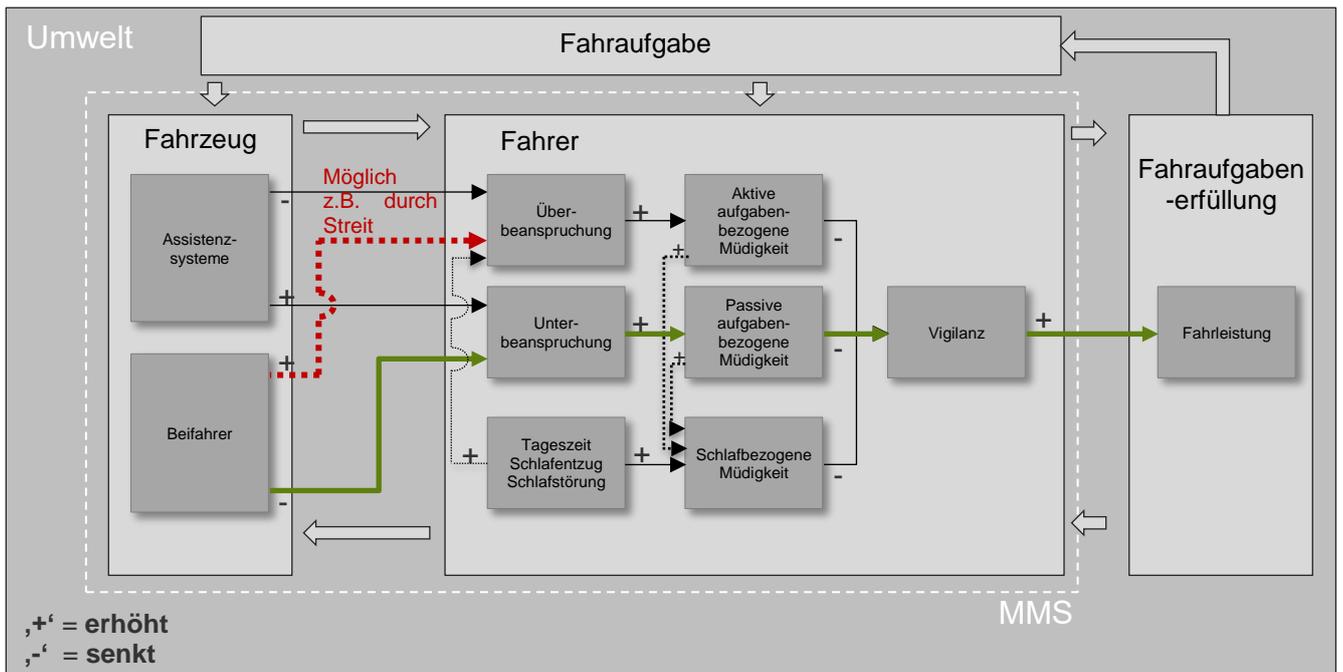


Abbildung 12: Wirkweise des Beifahrers im Kontext der Fahrermüdigkeit

4. Gamification als eingesetzte Monotonie-Intervention

In Kapitel 4 wird die Entwicklung und Umsetzung des Interaktionssystems für die Durchführung von Fahrversuchen beschrieben.

Auch wenn die Entwicklung und Verbesserung des Interaktionssystems auf Basis von Gamification nicht im Fokus dieser Arbeit stehen, sondern die grundlegende Eignung des Ansatzes, Müdigkeit durch eine Reiz-Anreicherung der Hauptaufgabe unter Zuhilfenahme von Gamification zu vermeiden, ist es zum allgemeinen Verständnis der Arbeit erforderlich, das eingesetzte Interaktionssystem und dessen Entwicklung zu beschreiben.

4.1.1. Entwicklungsprozess

Das Interaktionssystem wurde in Anlehnung an den menschenzentrierten Gestaltungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210 (Abbildung 13) entwickelt.

Der Prozess gibt vor, dass zunächst der Nutzungskontext verstanden und die Nutzungsanforderungen definiert sein müssen, bevor die Entwicklungsarbeit darauf aufbauend beginnen kann.

Den letzten Schritt des Gestaltungsprozesses bildet dann eine Evaluation der entwickelten Lösung anhand der Nutzungsanforderungen. In Abhängigkeit dieser Evaluation wird der Prozess beendet oder aber, sofern die Evaluation dies erfordert, erneut und beliebig oft durchlaufen. Je nach Ursache für eine Wiederholung des Entwicklungsprozesses, ist es legitim die Iteration bei Nutzungskontextanalyse, Festlegung der Nutzungsanforderungen oder bei der Gestaltungsarbeit zu beginnen.

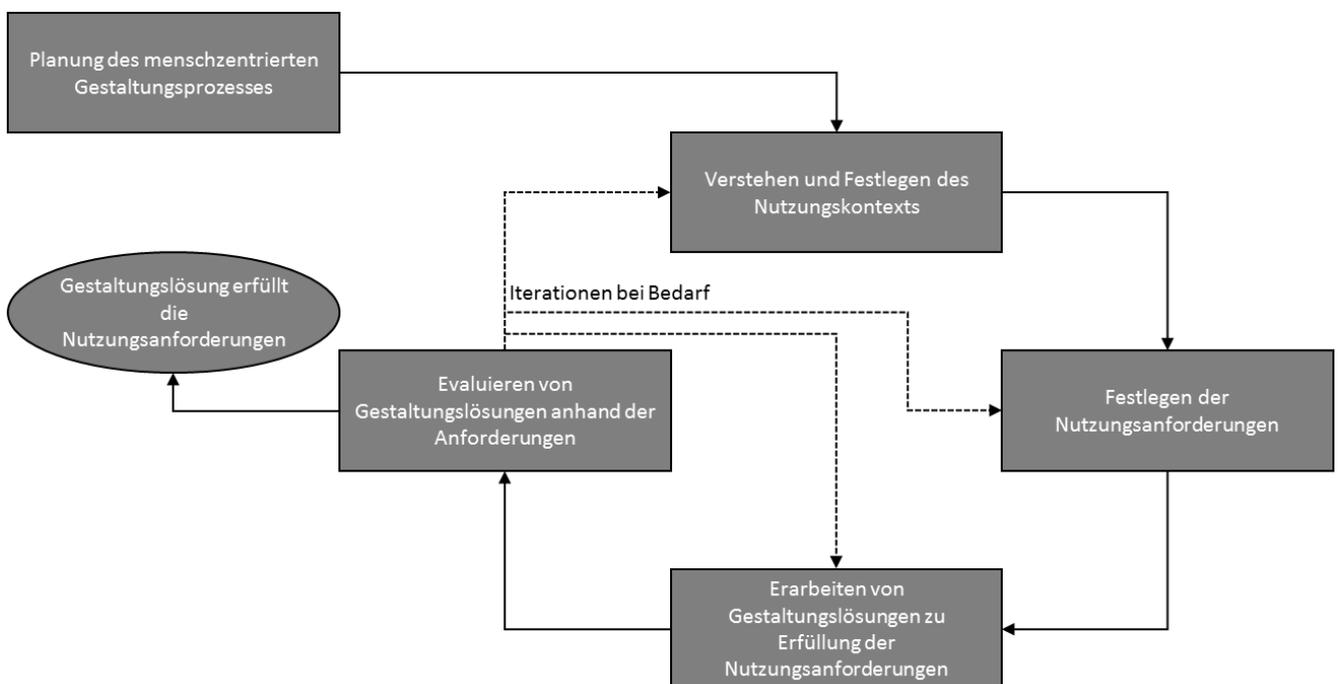


Abbildung 13: Der menschenzentrierte Gestaltungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210

Der Nutzungskontext ist durch die Ausführungen in Kapitel 2 beschrieben. Die Nutzungsanforderungen sind maßgeblich in Teilkapitel 2.2 enthalten, sollen aber im Folgenden noch einmal zusammengefasst werden.

4.1.2. Anforderungsbestimmung

Die Anforderungen an das Interaktionssystem lassen sich aus drei Bereichen ableiten. Zunächst ergeben sich Anforderungen an das Interaktionssystem aus dem Vergleich zur Beifahrerinteraktion, die als Vorbild herangezogen wird. Diese Anforderungen sind in Teilen positiv formuliert, weil das Interaktionssystem den Beifahrer nachempfinden soll und teils negativ formuliert, weil das Interaktionssystem einen konkreten Einfluss des Beifahrers vermeiden soll. In Anlehnung an Abbildung 9 aus Abschnitt 2.2.2 werden die folgenden Anforderungen formuliert:

1. Das Interaktionssystem soll die Monotonie bei der Fahrzeugführung durchbrechen.
2. Das Interaktionssystem soll die Motivation des Fahrzeugführers erhöhen, seiner Fahraufgabe gewissenhaft nachzukommen.
3. Das Interaktionssystem soll die mentale Arbeitslast erhöhen.
4. Das Interaktionssystem soll an bestehende Warnsysteme angebunden sein.
5. Das Interaktionssystem soll nicht die visuelle Aufmerksamkeit von der Straße nehmen.
6. Das Interaktionssystem soll nicht das Situationsbewusstsein des Fahrzeugführers verringern und dadurch die Reaktionszeit erhöhen.
7. Das Interaktionssystem soll den Fahrzeugführer nicht frustrieren.
8. Das Interaktionssystem soll den Fahrer nicht zu einer unsicheren Fahrweise animieren.

Weitere Anforderungen an das System ergeben sich aus den Erkenntnissen zur Gestaltung von künstlichen Interaktionen und zum erfolgreichen Einsatz von Gamification. Nach Markey et al. (2014) wird „Langeweile“ (Boredom) effektiv vermieden, wenn ein Interaktionssystem die folgenden Aspekte erfüllt:

9. Das Interaktionssystem soll die Herausforderung erhöhen.
10. Das Interaktionssystem soll ein Leistungsfeedback geben.
11. Das Interaktionssystem soll soziale Anerkennung bieten.
12. Das Interaktionssystem soll ein Anreizsystem bieten.

Nach Diewald, Möller, Roalter, Stockinger und Kranz (2013) müssen Gamificationssysteme vier Eigenschaften mitbringen, um beim Nutzer Akzeptanz und Anwendung zu finden, die sich auf das Interaktionssystem wie folgt übertragen lassen:

13. Das Interaktionssystem soll Ziele für den Fahrzeugführer haben, um die Aufmerksamkeit des Benutzers zu gewinnen
14. Das Interaktionssystem soll Regeln mit sich bringen, die die Zielerreichung planbar machen

15. Das Interaktionssystem soll ein Rückmeldesystem (Punkte, Fortschrittsbalken etc.) beinhalten, das die eigene Leistung prüfbar macht (äquivalent zu 10.)

16. Das Interaktionssystem soll dem Nutzer die Freiheit bieten, die Nutzung selbst zu beenden

Die letzten Anforderungen ergeben sich aus den allgemeinen Erkenntnissen zur Fahrsicherheit und dem Einfluss der Müdigkeit auf diese. Ranney, Harbluk und Noy (2005) wiesen nach, dass die Sprachsteuerung von Assistenzsystemen die sicherste und am wenigsten ablenkende Steuerungsvariante darstellt. Des Weiteren gehen müdigkeitsbedingte Unfälle oft mit überhöhten Geschwindigkeiten, einem seitlichen Verlassen der Fahrbahn und einem ausgebliebenen oder deutlich verspäteten Bremsverhalten einher (Pack et al. 1995; Radun & Radun 2009), daraus ergeben sich die folgenden Anforderungen:

17. Das Interaktionssystem soll durch Sprachbefehle gesteuert werden

18. Das Interaktionssystem soll eine gute Geschwindigkeitseinhaltung fördern

19. Das Interaktionssystem soll eine gute Spurhaltung fördern

20. Das Interaktionssystem soll eine gute Abstandshaltung fördern

Unter Zuhilfenahme dieser Anforderungsliste wurden mehrere Entwicklungsiterationen durchlaufen. Das Ergebnis ist ein Interaktionssystem, welches auf die Eignung der Vorbeugung monotoniebedingter Müdigkeit getestet werden soll. Im folgenden Abschnitt wird das System vorgestellt.

4.1.3. Umsetzung und Einbindung des Interaktionssystems

Das entwickelte Interaktionssystem (Bier, Negash & Pommeranz, 2018) besteht aus einem Head-Up-Display (HUD; 5-Zoll) und einem Mittelkonsolendisplay (12-Zoll). Das HUD ist im Prototyp als Spiegelung eines Smartphones für den Probanden auf der Windschutzscheibe sichtbar und nur während Interaktionen aktiv.

Insgesamt beinhaltet das Spiel 3 Fahrspiele, bei denen der Proband auf geraden Streckenabschnitten die Spur so genau wie möglich einhalten muss, den gesetzlichen Mindestabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug so genau wie möglich einhalten muss oder die aktuelle Höchstgeschwindigkeit so genau wie möglich einhalten muss. Alle Spiele sind für jeweils 1 Minute aktiv und belohnen eine besonders gute Zielerreichung mit Punkten, die zu einer Gesamtpunktzahl aufsummiert und in einer Rangliste gespeichert werden.

Der Fahrer bekommt also eine für ihn neue Herausforderung gestellt, die in der besonders genauen Erfüllung seiner bisherigen Fahraufgabe besteht. Dabei bekommt er für den Verlauf des Fahrspiels ein Feedback gesendet, wie gut er seine aktuelle Fahraufgabe gerade erfüllt (Abbildung 14, links) und wie lange die Fahraufgabe noch dauert. Die soziale Anerkennung erfolgt über das Punktesystem, über welches der Fahrer gleichzeitig belohnt wird (Abbildung 14, rechts) und über das er seine Leistung mit anderen Fahrern vergleichen kann (Abbildung 15, rechts). Als besonderer Anreiz wird dem Fahrer zum Start des Systems ein Wertgutschein in Aussicht gestellt, für den Fall, dass er unter allen Teilnehmern die beste Spielleistung erbringt. Damit sind alle 4 Anforderungen (Herausforderung, Leistungsfeedback,

soziale Anerkennung und Anreiz) an eine erfolgreiche Gamification von Markey et al. (2014) berücksichtigt.

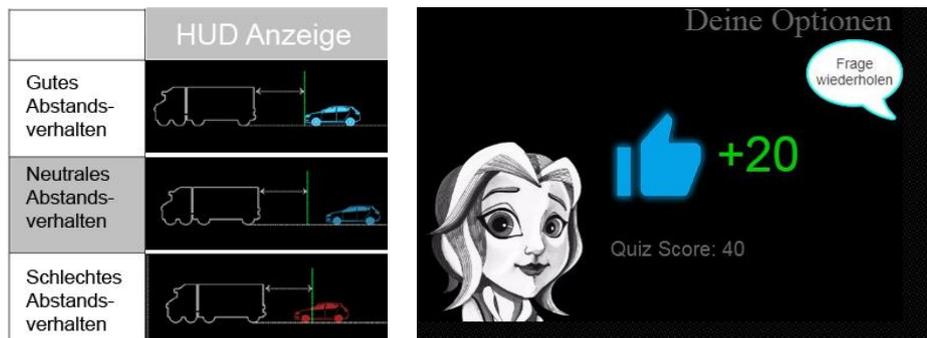


Abbildung 14: Feedback über HUD (links) und Mittelkonsole (rechts) während dem Fahrspiel "Abstand halten"

Auf jedes Fahrspiel folgen jeweils noch 3 Quizfragen aus einem Katalog von 11 Quizfragen, die den Probanden zur verbalen Aktivität animieren und ihn motivieren sich auch in Zukunft auf die Fahrstrecke zu konzentrieren. Als Beispiel für eine solches Quiz dient die folgende Aufgabe:

„Nennen Sie das zuletzt passierte Verkehrsschild!“ (siehe Abbildung 15).

Die Frage wird über eine Sprachausgabe an den Fahrer gestellt, der damit einen neuen auditiven Reiz erhält. Er beantwortet diese verbal, um zum einen seine Aufmerksamkeit nicht von der Straße richten zu müssen und zum anderen aktiv zu werden. Der Dialog zwischen Fahrer und Interaktionssystem beendet für den Fahrer die bis dahin monotone Fahrsituation. Das Feedback (siehe Abbildung 15, links) erhält der Fahrer über das HUD, damit er den Blick nicht von der Straße abwenden muss und die Bepunktung erfolgt erneut über eine Sprachausgabe. Der Fahrer wird schnell merken, dass sich die Quizfragen in unregelmäßiger Reihenfolge wiederholen und somit motiviert sein, mehr auf die abgefragten Details im Fahrzeugumfeld zu achten, die allesamt zur Erfüllung der Fahraufgabe relevant sind. Mit diesem Ansatz wurde das Konzept von Steinberger et al. (2017) erweitert, welches sich lediglich auf die Geschwindigkeit bezog und keine verbale Aktivität beim Fahrer hervorrief.

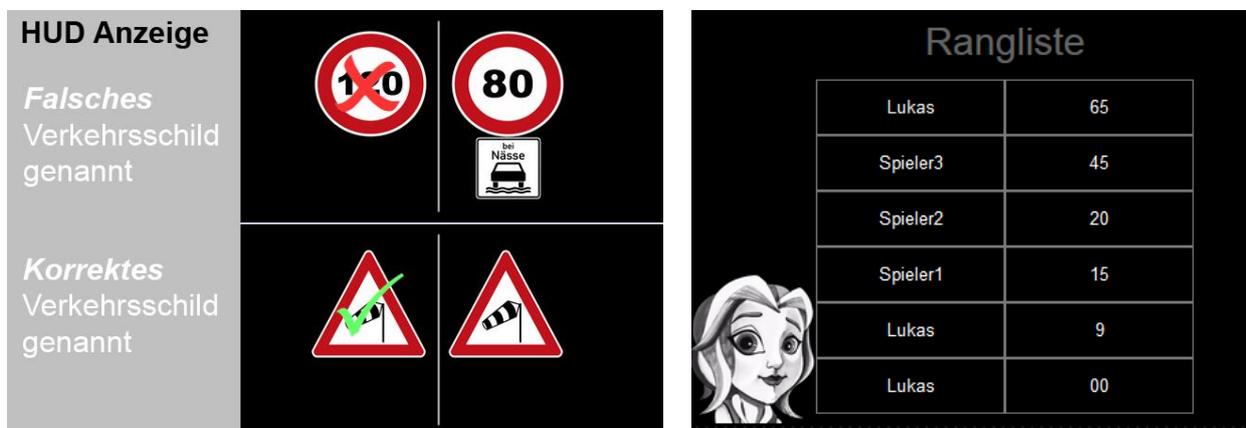


Abbildung 15: Feedback über HUD (links) während Quizfragen und Feedback über Mittelkonsole (rechts) zum aktuellen Punktestand

Die Fahrversuche wurden im statischen Fahrsimulator (siehe Abschnitt 5.2.4) des Instituts für Arbeitswissenschaft in Darmstadt durchgeführt. Der Software-Prototyp des Interaktionssystems wurde als Wizard-of-Oz-Konzept entwickelt (Bernsen, Dybkjaer & Dybkjaer, 1994), um die grundsätzliche Eignung des Lösungsansatzes zur Vermeidung monotoniebedingter Müdigkeit zu testen.

Wizard-of-Oz Experimente werden verwendet, um die Interaktion zwischen einer Person und einer Computeroberfläche zu simulieren. In dieser Art von Experiment gibt es eine Versuchsperson, die mit einem System interagiert, das nicht autonom arbeiten kann. Abseits der Testperson steuert eine andere Person, der "Wizard", das gesamte System (siehe Abbildung 16). Das bedeutet, dass die interagierende Person nur davon ausgeht, direkt mit dem System verbunden zu sein. Tatsächlich wird die gesamte Kommunikation zwischen der Person und der Computeroberfläche durch den "Wizard" gesteuert. Die Testperson verhält sich also wie in einem realen Experiment, auch wenn die gesamte Interaktion auf der Aktivität des Versuchsleiters basiert (Dahlbäck, Jönsson & Ahrenberg, 1993; Hajdinjak & Mihelic, 2003). Der Prototyp des Interaktionssystems wurde mit der Software *Axure* erstellt. *Axure* kann für das Prototyping von Webseiten und Apps verwendet werden. Das dynamische Panel bietet Optionen für statische und dynamische Interaktionsdesigns, die über logische Beziehungen und Ereignisse verknüpft werden können.

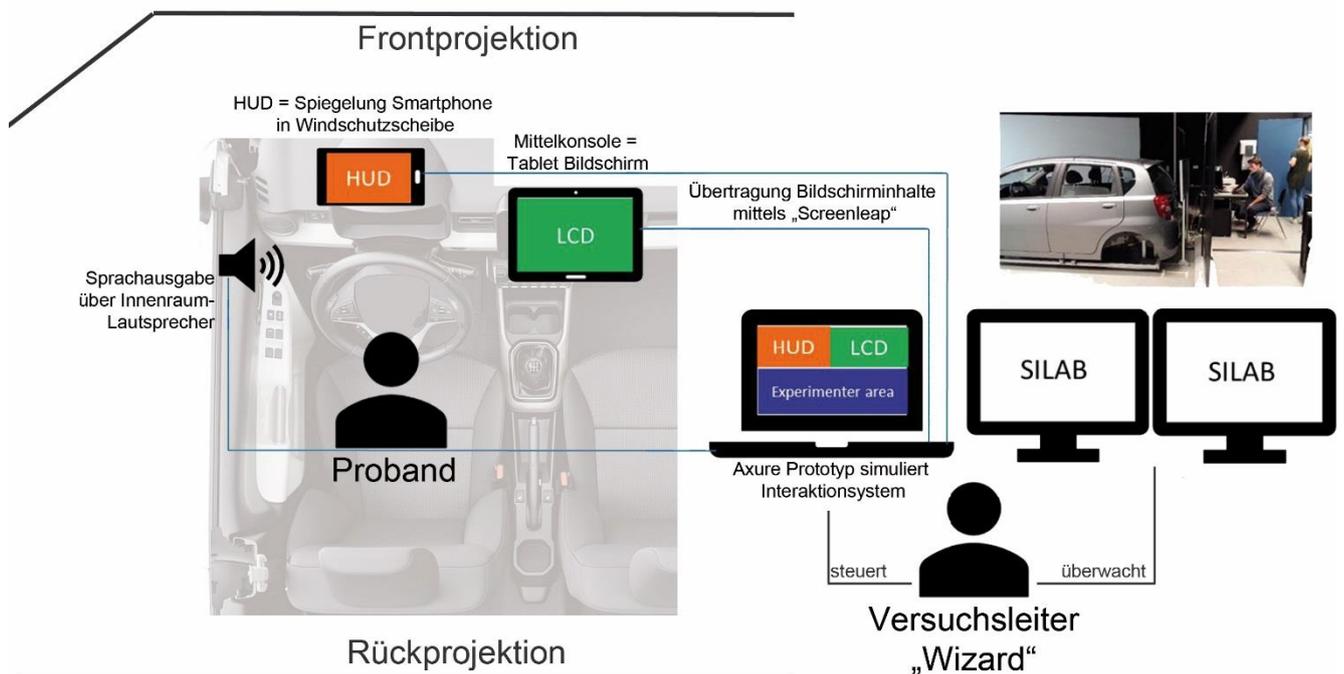


Abbildung 16: Wizard-of-Oz Versuchsaufbau

Der Inhalt des HUD und der Bildschirm in der Mittelkonsole des Fahrzeugs (LCD) sind für den Versuchsleiter im oberen Bereich seines Bildschirms sichtbar. Der Inhalt des HUD wird auf der linken Seite angezeigt. Seine Größe ist fix und entspricht den Proportionen des Smartphones, welches das HUD letztlich auf die Windschutzscheibe des Versuchsfahrzeugs projiziert (Anzeige auf Smartphone daher

zunächst spiegelverkehrt). Auf der rechten Seite wird das LCD angezeigt und es ist ebenfalls an die Proportionen des Tablett angepasst, welches den Mittelkonsolenbildschirm in den Experimenten darstellte. Die Übertragung der Bildschirminhalte erfolgt mittels der Software *Screenleap*.

Im unteren Bildbereich befindet sich die Oberfläche für den Versuchsleiter. Dieser Bereich ist nur für den „Wizard“ sichtbar. Über diese Schnittstelle ist es möglich, das Interaktionssystem zu steuern und den Inhalt von HUD, LCD und Sprachausgabe zu beeinflussen.

Grundsätzlich kann der Fahrer alle seine Eingaben per Sprachsteuerung tätigen, da Fahrzeug und Versuchsleiter durch Mikrofon und Kopfhörer verbunden sind. Wenn der Fahrer mit dem System interagiert, muss der Versuchsleiter sodann die entsprechende Aktion auslösen, indem er auf eine Schaltfläche im Versuchsleiterbereich (experimenter area) klickt, wie in Abbildung 17 dargestellt. Zu welchem Zeitpunkt die Fahrspiele vom Versuchsleiter ausgelöst werden, ist Wegpunkt abhängig, damit alle Probanden an den gleichen Streckenstellen die gleichen Interaktionen durchlaufen. Ein detaillierter Ablaufplan (siehe Anhang 1: Ablaufplan und Versuchsanweisungen für den Versuchsleiter) sichert dieses Vorgehen.

Während der Proband ein Fahrspiel durchläuft, kann der Versuchsleiter aus der Simulatorsoftwareausgabe (*SILAB*) Informationen über das Abschneiden des Probanden auslesen und in das Interaktionssystem einspeisen. So erfolgte beispielsweise für das Fahrspiel „Geschwindigkeit halten“ alle fünf Sekunden durch den Versuchsleiter eine Eingabe der aktuell gefahrenen Geschwindigkeit. Ein Countdown, der dem Versuchsleiter den Rhythmus der Eingabe vorgab, sicherte, dass alle Probanden die gleiche Rückmelderate erhielten. Diese Rückmeldung erfolgte über das HUD und lieferte den Probanden fortlaufend Informationen zum aktuellen Abschneiden im Fahrspiel.



Abbildung 17: Aufteilung der Axure Oberfläche (links) und beispielhafte Ansicht für das Fahrspiel Schilderererkennung (rechts)

5. Untersuchungskonzept

5.1. Untersuchungsziel und Leithypothesen

Das Untersuchungsziel der im Folgenden vorgestellten Studie ist es, die zwei aus dem aktuellen Stand der Forschung abgeleiteten Forschungsfragen in Teilkapitel 2.3, unter Verwendung eines selbst entwickelten gamifizierten Interaktionskonzepts im Fahrimulatorversuch, zu beantworten. In Kapitel 3 wurde dazu ein Modell aufgestellt, das die theoretische Wirkweise einer gamifizierten Interaktion auf die Monotonie und damit die Müdigkeit und die Fahrleistung am Beispiel der Fahrzeugführung aufzeigt. Mit der Untersuchung soll dieses Modell im Folgenden empirisch bestätigt werden. Bei der Erstellung der Untersuchungsmethodik wird auf ein methodisch korrektes Vorgehen geachtet, das sich durch eine umfassende Auswahl geeigneter Messmethoden und ein Versuchsdesign auszeichnet, das die Interaktion nicht nur mit einer monotonen Alleinfahrt als Baseline vergleicht, sondern auch einen Vergleich zu einer *natürlichen* Interaktion mit einem Beifahrer herstellt.

Die grundlegenden Forschungsfragen lassen sich in Leithypothesen aufgliedern, die sich durch die Untersuchung und die Analyse der aus der Untersuchung gewonnenen Daten verwerfen oder bestätigen lassen. Grundsätzlich sind die Leithypothesen immer zweigliedrig aufgebaut, sodass eine Unterscheidung für die Vergleiche *Interaktionssystem zu Alleinfahrt* und *Interaktionssystem zu Beifahrerfahrt* getroffen wird.

Eine weitere notwendige Detaillierung der Leithypothesen durch die Formulierung von Forschungshypothesen findet in Kapitel 5.7 statt, nachdem die Untersuchungsmethodik inklusive der verwendeten Messmethoden vorgestellt wurde.

Das erste Paar von Leithypothesen bezieht sich auf die mentale Beanspruchung. Da in monotonen Fahrsituationen die Fahraufgabe kaum variiert und Navigations- und Führungsaufgaben weitestgehend entfallen, ist zu erwarten, dass die mentale Beanspruchung auf der Alleinfahrt geringer ist, als bei der Interaktionsfahrt. Im Umkehrschluss soll das Interaktionssystem die mentale Beanspruchung bewusst erhöhen, um den Zustand der Unterforderung zu beenden. Des Weiteren sollte das Interaktionssystem den Fahrer auch nicht überfordern, da auch Überforderung zu Müdigkeit bzw. einer verschlechterten Fahrleistung führen kann. Aus diesen Forderungen ergibt sich Leithypothese 1.1:

LH1.1: Das Interaktionssystem erhöht die mentale Beanspruchung der Probanden im Vergleich zur Alleinfahrt ohne zu einer Überbeanspruchung zu führen.

Im Vergleich zur Beifahrerfahrt wird wiederum erwartet, dass das Interaktionssystem den Fahrzeugführer in ähnlicher Art und Weise beansprucht wie die natürliche Interaktion mit einem Beifahrer, somit ergibt sich Leithypothese 1.2:

LH1.2: Das Interaktionssystem erhöht die mentale Beanspruchung in gleicher Weise wie die Kommunikation mit einem Beifahrer.

Der zweite Satz Leithypothesen bezieht sich auf die psycho-physiologische Müdigkeit der Probanden. Es wird davon ausgegangen, dass das Interaktionssystem ein Aufkommen von Müdigkeit bei den Probanden, durch das Setzen neuer Reize, deutlich verzögert. Da die Versuche in einem Fahrsimulator durchgeführt werden und eine Fahrdauer von 2,5 Stunden haben, wird allerdings postuliert, dass sich die psycho-physiologische Müdigkeit der Probanden zum Ende der Versuche unabhängig der Interaktionsform angleicht. Dieser Zusatz ist darauf zurückzuführen, dass Müdigkeit im Simulator wesentlich schneller als im Realverkehr aufkommt (Rose, 2006) und darauf dass Versuchspersonen in Langzeitfahrversuchen nach etwa 120 Minuten an Ihre Leistungsgrenze/ Müdigkeitsgrenze stoßen (Karrer-Gauß, 2011; Nilsson, Nelson & Carlson, 1997).

Es ergibt sich somit Leithypothese 2.1:

LH2.1: Probanden weisen bei Nutzung des Interaktionssystems im Vergleich zur Alleinfahrt weniger Anzeichen psycho-physiologischer Müdigkeit auf, dies zeigt sich vor allem im Versuchszeitraum von unter 2 Stunden, bevor sich die Kennwerte angleichen.

Hinsichtlich des Vergleichs der Interaktionsfahrt zur Beifahrerfahrt wird erwartet, dass sich die psycho-physiologische Müdigkeit in gleicher Weise entwickelt, da die verbale Interaktion auf beiden Fahrten gleichermaßen die Fahraufgabe ergänzt, somit lautet die Leithypothese 2.2:

LH2.2: Probanden weisen bei Nutzung des Interaktionssystems und bei der Beifahrerfahrt gleiche Anzeichen psycho-physiologischer Müdigkeit auf.

Der dritte Hypothesensatz widmet sich der Vigilanz der Probanden, also der auf Dauer gerichteten Aufmerksamkeit auf eine reizarme Tätigkeit. Die reizarme Tätigkeit ist in diesem Zusammenhang die Fahraufgabe selbst. Es wird vermutet, dass die Aufmerksamkeit bei der Alleinfahrt durch die Probanden nicht über den gleichen Zeitraum aufrecht gehalten werden kann, wie bei der Interaktionsfahrt und die Vigilanz deswegen auf der Alleinfahrt niedriger ist. Da durch die Einbindung von Gamificationelementen die Fahraufgabe selbst neue Reize erhält, sollte es den Probanden leichter fallen, die Vigilanz auf die Fahraufgabe aufrecht zu halten. Wie bei der psycho-physiologischen Müdigkeit wird diese Annahme durch den Zusatz erweitert, dass sich zu Fahrtende die Vigilanz auf allen Fahrten angleicht.

Ausformuliert ergibt sich Leithypothese 3.1:

LH3.1: Probanden weisen bei Nutzung des Interaktionssystems aufgrund geringerer Müdigkeit eine höhere Vigilanz gegenüber der Alleinfahrt auf, dies zeigt sich vor allem im Versuchszeitraum von unter 2 Stunden, bevor sich die Kennwerte angleichen.

Auch im Vergleich zur Beifahrerfahrt wird eine höhere Vigilanz durch Nutzung des Interaktionssystems erwartet, da ein Gespräch mit dem Beifahrer die Probanden zwar mental aktiviert, aber auch von der Fahraufgabe ablenken dürfte. Da die Interaktionen mit dem entwickelten System die Fahraufgabe selbst adressieren, wird die Leithypothese 3.2 formuliert:

LH3.2: Probanden weisen bei Nutzung des Interaktionssystems aufgrund geringerer Ablenkung eine höhere Vigilanz gegenüber der Beifahrerfahrt auf.

Der vierte und letzte Satz an Leithypothesen bezieht sich letztlich auf die Fahrleistung, die es im Wesentlichen aufrechtzuerhalten gilt. Entsprechend der vorangegangenen Hypothesen wird vermutet, dass alle beschriebenen Entwicklungen letztlich zu einer Aufrechthaltung der Fahrleistung auf der Interaktionsfahrt führen, während die Fahrleistung auf der Alleinfahrt aufgrund fehlender Intervention frühzeitig sinkt. Es wird die Leithypothese 4.1 wie folgt formuliert:

LH4.1: Die Fahrleistung ist bei Nutzung des Interaktionssystems besser als bei der Alleinfahrt, dies zeigt sich vor allem im Versuchszeitraum von unter 2 Stunden, bevor sich die Kennwerte angleichen.

Da angenommen wird, dass die Müdigkeit sich bei Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt in gleicher Weise verlangsamt entwickelt, wird auch angenommen, dass die Fahrleistung einen ähnlichen Verlauf nimmt. Somit lautet die Leithypothese 4.2:

LH4.2: Die Fahrleistung ist bei Nutzung des Interaktionssystems genauso hoch wie bei der Beifahrerfahrt.

Zur Beantwortung der ergänzenden Forschungsfrage zum Nutzungserleben, muss sowohl die Leistung der Probanden bei den Gamification-Aufgaben, als auch die subjektive Gesamtbewertung des Nutzungserlebens durch die Probanden herangezogen werden, da diese Elemente nach dem CUE-Modell von Thüring und Mahlke (2007) die resultierenden Komponenten eines positiven Nutzungserlebens darstellen.

Folglich lauten die erste Leithypothesen e.1 zur ergänzenden Forschungsfrage wie folgt:

LHe.1: Die Probanden bewerten das Nutzungserleben mit dem eingesetzten Interaktionssystem auf Basis von Gamification als positiv.

Die zweite Leithypothese LHe.2 zur ergänzenden Forschungsfrage zielt dementsprechend auf die Leistung der Probanden bei den Gamification-Aufgaben ab, denn eine über den Versuch stark abfallende Leistung würde dafürsprechen, dass die Probanden durch die Gamification-Aufgaben nicht angesprochen werden und sich auf anderen Wegen beschäftigen. Somit lautet die Leithypothese e.2:

LHe.2: Die Nutzung des Interaktionssystems wird von den Probanden ernst genommen, dies zeigt sich in einer über den Fahrversuch mindestens konstanten Leistung bei den Gamification-Aufgaben.

Bevor die Leithypothesen weiter detailliert werden und dargelegt wird, auf welche Weise sie bestätigt bzw. widerlegt werden, werden in den folgenden Abschnitten zunächst die Anforderungen an das Versuchsdesign und das vollständige Versuchskonzept dargestellt.

5.2. Versuchsaufbau

In diesem Abschnitt wird der Versuchsaufbau vorgestellt, dabei wird auf die im vorherigen Abschnitt definierten Anforderungen an den Versuchsaufbau eingegangen.

5.2.1. Anforderungen an den Versuchsaufbau

Grundsätzlich müssen Versuchsaufbau und Messmethoden geeignet sein und eine Grundlage bilden, die zuvor aufgestellten Forschungsfragen und Leithypothesen zu adressieren. Daraus ergeben sich Anforderungen, sowohl an die Versuchsmethodik selbst als auch an den Versuchsablauf, die in diesem Abschnitt erörtert werden sollen.

Anforderungen an die Versuchsstrecke

Die wichtigste Anforderung an die Untersuchungsmethodik ist, dass das Streckendesign bei den Probanden Monotonie verursacht. Um dies zu erfüllen, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, die in Abschnitt 5.2.1 vorgestellt wird. Da Monotonie auf Dauer zu Müdigkeit führt und Müdigkeit bei der Fahrzeugführung ein hohes Unfallrisiko birgt (vgl. z.B. Arnedt, Wilde, Munt & MacLean, 2001) wird zum Schutz der Probanden die Studie als Simulatorstudie konzipiert. Aus diesem Umstand ergibt sich die Anforderung, dass die Simulatorfahrt so realitätsnah wie möglich gestaltet wird. Diese Anforderung hat insbesondere Auswirkungen auf die Simulationsstrecke und den Versuchsträger, der in Abschnitt 5.2.4 vorgestellt wird.

Die Strecke muss darüber hinaus so gestaltet sein, dass sie die Möglichkeit bietet, das in Abschnitt 4.1.3 vorgestellte Interaktionssystem einzusetzen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit von Verkehrsteilnehmern für das Spiel Abstand halten, von leichten Kurven für das Spiel „Spur halten“ und von Verkehrsschildern und Umgebungsmerkmalen für die Quizfragen des Interaktionssystems.

Anforderungen an den Versuchsablauf

Bezüglich des Versuchsplans ist es von äußerster Notwendigkeit, dass alle Versuche für alle Probanden nach dem gleichen Prinzip und chronologisch identisch ablaufen, um die Vergleichbarkeit der Fahrten zu gewährleisten. Diese Forderung impliziert, dass bei den Interaktionsfahrten an den gleichen Streckenpunkten die gleichen Interaktionen/ die gleichen Fahrspiele eingeleitet werden. Ebenso müssen die Beifahrerinteraktionen für alle Fahrten einen ähnlichen Verlauf haben, wenngleich es nicht möglich sein wird, den individuellen Gesprächsverlauf für alle Probanden anzugleichen. Damit die Wirkung der

Interaktionen zwischen Interaktionssystem und Beifahrer vergleichbar sind, soll auch sichergestellt sein, dass die Interaktionen in beiden Szenarien an den gleichen Streckenpunkten eingeleitet werden.

Durch ein entsprechendes Briefing der Probanden und einen entsprechenden Zeitplan muss des Weiteren sichergestellt werden, dass andere Ursachen für Müdigkeit, also die schlafbezogene und die aktive aufgabenbezogene Müdigkeit, ausgeschlossen sind.

Letztlich bergen Simulatorfahrten ein hohes Risiko für den Ausfall von Versuchspersonen aufgrund der sogenannten *Simulator Sickness*, da die kinästhetische und die vestibuläre Wahrnehmung nicht mit der visuellen und auditiven Wahrnehmung im Simulator übereinstimmen (Hoffmann & Buld, 2006). Um die Ausfälle so gering wie möglich zu halten, muss der Versuchsablauf gewährleisten, dass die Probanden sich an den Simulator gewöhnen können und ein Ausfall so früh wie möglich festgestellt werden kann.

5.2.2. Versuchsstrecke und Szenarien

In der Literatur lässt sich keine allgemeingültige Definition einer monotonen Fahrsituation finden. Häufig verwenden Fahrversuche als Streckendesigns eine Strecke ohne jeglichen Verkehr oder Kurven (siehe z.B. Hayami, Matsunaga, Shidoji & Matsuki, 2002; Valck & Cluydts, 2001). Da dieses Streckendesign aber zu äußerst unrealistischen Fahrszenarien führt, sollten zunächst aus der Gegenüberstellung der verschiedenen Studien zu Monotonie, deren Streckendesigns und deren Ergebnissen Grenzwerte eines monotonen Streckendesigns identifiziert werden. Zu diesem Zweck wurde eine detaillierte Literaturrecherche von Studien aus dem Fahrermüdigkeitskontext durchgeführt und die Kernaussagen über deren Streckendesign entsprechend einer eigens erstellten Kategorisierung zur Streckenmodellierung gesammelt.

Unter den drei Haupteinflussgruppen Strecke, Landschaft und Verkehr wurden sämtliche eingegliederten Einflussfaktoren einer quantitativen Analyse unterzogen und auf diese Weise Intervalle und Grenzwerte definiert, bei deren Einhaltung mit hoher Wahrscheinlichkeit eine müdigkeitsfördernde Fahrsituation erzeugt werden kann (Tabelle 3). Insgesamt wurden die Streckendesigns von 32 Studien, in denen monotoniebedingte Müdigkeit festgestellt werden konnte, analysiert und zusammengefasst (Tabelle inklusive der eingeflossenen Literatur in Anhang 2: Streckengrenzen).

Das Design der Simulationsstrecke folgt dem Grundsatz „so monoton wie nötig, so abwechslungsreich wie möglich“, um zum einen das Primärziel der Erzeugung von Monotonie während der Fahraufgabe zu gewährleisten und zum anderen ein möglichst realistisches Fahrerlebnis sowie ausreichend Möglichkeit für umgebungsabhängige Fahrspiele und Messmethoden zu eröffnen. Als Strecke wurde letztlich ein 240 km langer Autobahnabschnitt der Autobahn A5 (Müllheim/Neuenburg – Darmstadt/Eberstadt) gewählt und simuliert, der die recherchierten Kriterien aus Tabelle 3 erfüllt. Durch dieses Vorgehen ist gewährleistet, dass die simulierte Strecke dem Anspruch genügt, ein reales Fahrszenario abzubilden. Eine bildliche Darstellung der simulierten Strecke ist in Abbildung 18 für drei Streckenabschnitte zu sehen.

Tabelle 3: Grenzwerte eines monotonen Streckendesigns

	Kategorie	Eigenschaft	Recherchierte Grenze
STRECKE	Streckenführung	Länge der Geraden	4 km - ∞
		Kurvenanzahl	0 – 20 pro 100 km
		Länge der Kurven	1 km - ∞, aber jeweils geringer als der Kurvenradius
		Radius der Kurven	1 km - ∞, aber jeweils mindestens so groß wie die Kurvenlänge
		Vertikale Streckenführung	Vollkommen eben
	Streckentyp	Streckentyp	Landstraße, autobahnähnlich oder Autobahn
		Anzahl Spuren in eigene Fahrtrichtung	(1 -) 2
	Konnexionen	Anschlussstellen	Abstand 25 - 50 km
		Parkplätze	Nicht erlaubt
		Brücken	In Verbindung mit jeder Anschlussstelle und eine weitere nach jeder zweiten Anschlussstelle
	Markierungen & Bebauungen	Auftrittshäufigkeit von Schildern	6 km - ∞
		Art der Schilder	Keine Schilderbrücke; Autobahntypische Schilder am Straßenrand
		Fahrbahnmarkierung	Standardmäßige Markierung mit gestrichelten und durchgezogenen weißen Linien
		Standstreifen	Durchgängig rechts, 2,5 Meter Breite
		Mittelstreifen	Durchgängig mit Leitplanke, Leitpfosten, Gebüsch
		Leitpfosten	Durchgängig beidseitig, standardmäßiger Abstand 50 Meter
		Leitplanken	Links durchgängig; Rechts wahlweise mit konstanter Beibehaltung von 4 km - ∞
LANDSCHAFT	Topografie	/	Ebene Landschaft mit Horizontbeschränkung
	Meteorologie	Wetter	Kein Niederschlag; Himmel blau – bewölkt
		Tageszeit	Morgendämmerung od. Abenddämmerung
		Sichtweite	2000 Meter (programmspezifisch)
		Nebel	Nicht erlaubt
		Jahreszeit	Sommer oder sommerähnlich
	Landschaftstyp	Baumdichte	Gering bis moderat; Akkurat oder zufällig platziert.
		Urbane Landschaftstyp	Nicht ausschließlich; Abstand zwischen entfernten Häusern oder Dörfern in ländlichem Gebiet: 6 km - ∞;
		Ländliche Felder	Erlaubt
		Gewässer	Nicht erlaubt
Änderungsfrequenz der Landschaftstypen (pro Straßenseite)		Ländlich: 25 km - ∞; Wald: 10 km - ∞; Schallschutz: 10 km	
VERKEHR	Verkehrsdichte	/	Gering
	Verkehrsteilnehmer	PKW	Erlaubt
		LKW	Einsatz bei der Hälfte der langsameren Fahrzeuge
		Passanten	Nicht erlaubt
	Verkehrsrichtung	Gegenrichtung	0 - 20 Fahrzeuge pro Stunde
		Schnellere Fahrzeuge: Verkehrsdichte	0 - 10 Fahrzeuge pro Stunde; In Kombination mit langsameren Fahrzeugen: 0 - 6 Fahrzeuge pro Stunde
		Schnellere Fahrzeuge: Verhalten und Relativgeschwindigkeit	Unauffälliges Verhalten; Bis 20 km/h über die erlaubte Geschwindigkeitsbeschränkung, aber strikt verschieden von 0 km/h
		Langsamere Fahrzeuge: Verkehrsdichte	0 - 10 Fahrzeuge pro Stunde; In Kombination mit schnelleren Fahrzeugen: 0 - 6 Fahrzeuge pro Stunde
		Langsamere Fahrzeuge: Verhalten und Relativgeschwindigkeit	Unauffälliges Verhalten; Bis 20 km/h langsamer als das Fahrzeug des Probanden, aber verschieden von 0 km/h



Abbildung 18: Beispielhafte Abbildung der Fahrstrecke - Überland (links) - Ländlich (mittig) - Ortsdurchfahrt mit Lärmschutz (rechts)

Die Fahrstrecke ist so angelegt, dass sie eine Versuchsdauer von 130-140 Minuten ermöglicht, da Karrer-Gauß (2011) in ihren Simulatorversuchen zur Müdigkeitsuntersuchung feststellen konnte, dass Probanden nach einer Fahrtzeit von 120 Minuten starke Symptome von Müdigkeit aufweisen und aus freien Stücken nach dieser Fahrtzeit die Versuche abbrechen würden. Bei durchgängigen Geschwindigkeitsbegrenzungen zwischen 100 km/h und 120km/h, ergibt sich der Bedarf einer Strecke von ungefähr 240km Länge. Das passende Teilstück der A5 durchläuft 29 Kurven (siehe Abbildung 19) mit einem Mindestradius von 1500m und einem Durchschnittsradius von 6533m und ist damit monotoner gestaltet als die Strecken von Merat, N. und Jamson (2013) und Paul, Boyle, Tippin und Rizzo (2005), die mit 600m und 1000m die engsten monotonieerzeugenden Kurvenradien der Literaturrecherche aufwiesen. Die Strecke verläuft durchgängig in einer Ebene und ist durchgängig als zweispurige Autobahn mit zusätzlichen Brems- und Beschleunigungstreifen an Auf- und Abfahrten simuliert. Die regulären Fahrstreifen sind 3,75 Meter breit und der begrünte Mittelstreifen weist eine Breite von 3 Metern auf.

Insgesamt wird die Strecke durch vier Brücken gekreuzt und ist an acht Auf- und Abfahrten angeschlossen (siehe Anhang 3: Streckenführung). Diese Konnexionen werden benötigt, um markante Anhaltspunkte für das Umgebungsquiz bereitzustellen. Verkehrsschilder sind alle sechs Kilometer gesetzt und umfassen Geschwindigkeitsbegrenzungen und andere, auf deutschen Autobahnen übliche Gebots- und Verbotszeichen. Es ist ein wolkenloser Himmel simuliert mit einer Sichtweite von 2000m, dieser ist leicht blau-grau gehalten, um Tristesse (Liu, S., 2015) zu induzieren.

Die links und rechtsseitige Landschaft ist maßgeblich durch Wald (38%) und Feldflächen (52%) gekennzeichnet. Die urbanen Autobahnabschnitte (10%) sind durch eine Lärmschutzwand eingefasst, um den Probanden nicht zu viele visuelle Reize durch eine Stadtsimulation zu bieten. Die Landschaftswechsel sind eingeführt, um eine realistischere Simulation zu erzeugen.

Verkehrsteilnehmer können Probanden stark aktivieren und die Monotonie im Versuch senken, da insbesondere eigene Überholvorgänge den Probanden mental beanspruchen können (Reyner & Horne, 1998). Aus diesem Grund sind lediglich sechs Fahrzeuge in die Fahrtrichtung der Probanden pro Stunde simuliert, die für die Durchführung des Fahrspiels Abstand halten und für Quiz-Schätzfragen notwendig sind. Damit liegt die Anzahl an Fahrzeugen deutlich unter Atchley et al. (2014) mit 20 Fahrzeugen pro

Stunde oder Otmani, Pebayle, Roge und Muzet (2005) mit 40 Fahrzeugen pro Stunde, die in Ihren Studien verhältnismäßig viele Fahrzeuge simuliert haben, dennoch aber monotoniebedingte Müdigkeit dokumentieren konnten.

Zur Simulation des Gegenverkehrs konnten keine belastbaren Zahlen aus anderen Untersuchungsdesigns gezogen werden. Lediglich eine Studie hat diesbezüglich Angaben gemacht: Verwey und Zaidel (1999) simulierten 60 Fahrzeuge pro Stunde im Gegenverkehr. Um das Risiko einer zu hohen Aktivierung gering zu halten und das Szenario gleichzeitig realistisch zu halten, wurden 20 Fahrzeuge pro Stunde im Gegenverkehr simuliert.

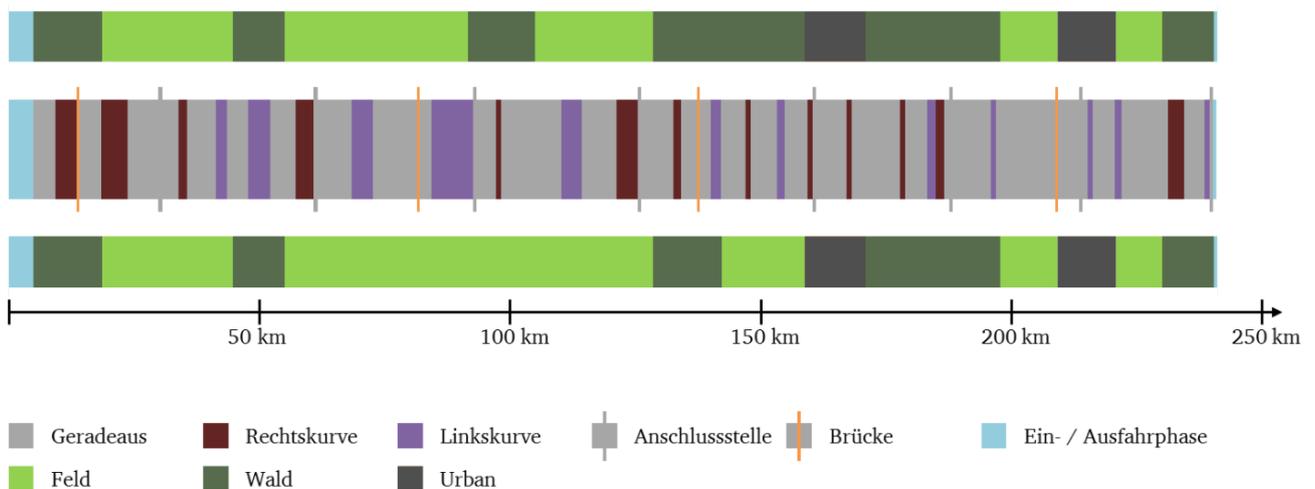


Abbildung 19: vereinfachte Darstellung des Streckenverlaufs (Mitte) mit Darstellung des linksseitigen (Oben) und des rechtsseitigen (Unten) Landschaftstyps

5.2.3. Probandenkollektiv

Für den Versuch mit den drei Fahrten Alleinfahrt, Beifahrerfahrt und Interaktionsfahrt wurden die Probanden so akquiriert, dass die einzelnen Probanden für alle drei Fahrten zur Verfügung standen, um eine bessere Vergleichbarkeit der Interaktionsformen zu gewährleisten. Bubb (2003) empfiehlt für die Erprobung technischer Innovationen im Fahrversuch 30-50 Probanden. Ferner sind ab einer Probandenzahl von über 30 Probanden die Mittelwerte der Messwerte nach dem zentralen Grenzwerttheorem hinreichend normalverteilt (Döring & Bortz, 2016), was die statistischen Vergleiche bei der Auswertung vereinfacht.

Letztlich nahmen 37 Probanden an der Studie teil, davon mussten insgesamt 6 Probanden aufgrund der Simulatorkrankheit (vgl. Brooks et al., 2010) die Versuche vorläufig beenden. Damit verblieben 31 verwertbare Datensätze und somit ähnlich viele bzw. mehr Probanden als in vergleichbaren Studien (Larue et al., 2011; Steinberger et al., 2017; Ting, Hwang, Doong & Jeng, 2008; Verwey & Zaidel, 1999).

Das Probandenkollektiv war gemischtgeschlechtlich und zu fast gleichen Teilen verteilt. Insgesamt nahmen 18 männliche (58,1%) Probanden und 13 weibliche (41,9%) Probanden am Versuch teil (siehe Abbildung 20).

Einige Teilnehmer wurden über den Probandenpool des Forschungsinstituts gewonnen, andere wiederum aus der Universität per Ausschreibung rekrutiert.

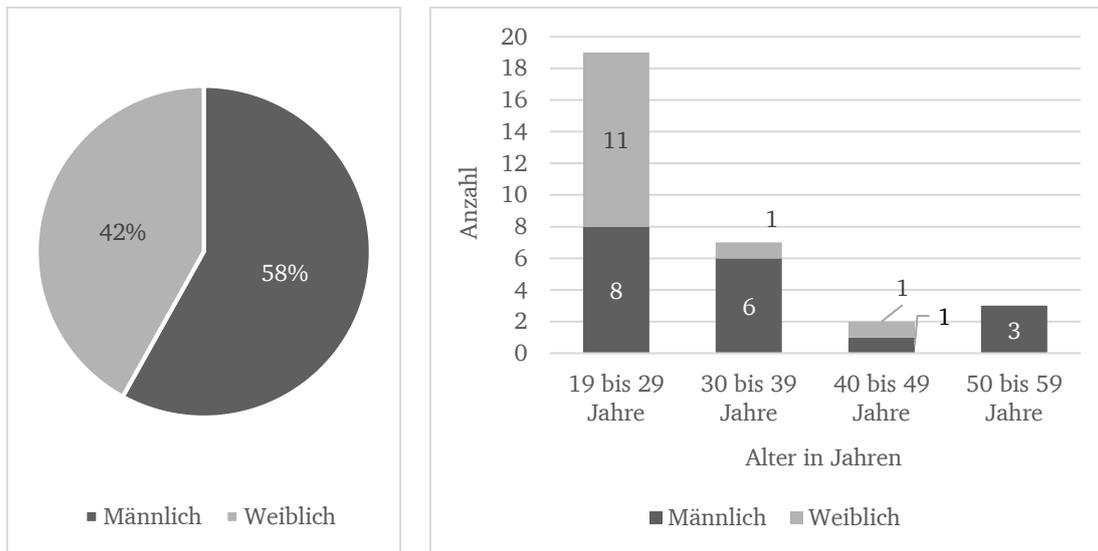


Abbildung 20: Verteilung des Probandenkollektives (n= 31) nach Geschlecht (links) und nach Alter und Geschlecht (rechts)

Zwei Männer und zwei Frauen gaben an, bereits Erfahrungen mit einem Fahrsimulator gemacht zu haben. Alle Probanden mussten in Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis der Klasse B sein. Die Probanden erhielten nach Abschluss der drei Fahrten 100€ Probandengeld. Bei vorläufigem Abbruch des Versuches wurden die Probanden mit 10€ entschädigt.

Die Probanden waren 20-60 Jahre alt und hatten einen Altersdurchschnitt von ungefähr 30 Jahren (Mittelwert (MW) 30,45 Jahre, Standardabweichung (SD) 10,19) und bilden damit ein eher junges Kollektiv. Das jüngere Kollektiv legitimiert sich dadurch, dass besonders jüngere Fahrer schneller in monotonen Fahrsituationen die Aufmerksamkeit verlieren (Drory, 1982) und dadurch, dass diese besonders häufig müdigkeitsbedingt verunfallen (Al-Houqani, Eid & Abu-Zidan, 2013; Pack, A. I. et al., 1995; Radun, I. & Radun, 2009; Stutts, Wilkins, Scott Osberg & Vaughn, 2003). Die durchschnittliche Fahrerfahrung lag bei ungefähr 13 Jahren (MW 13,29 Jahre, SD 10,12).

5.2.4. Versuchsträger

Für die Versuchsreihe wurde der statische Fahrsimulator des *Instituts für Arbeitswissenschaft* in Darmstadt verwendet. Die Simulationsumgebung wird mit dem Fahrsimulationsprogramm SILAB 5.1, das vom Würzburger Institut für Verkehrswissenschaft (WIVW) entwickelt und vertrieben wird, auf insgesamt neun Rechnern erzeugt. Durch eine simultane Projektion über sechs Bildkanäle mit einem jeweiligen 60° Öffnungswinkel, erfolgt die Darstellung durch Beamer (jeweils 1920x1200 Pixel) auf

Leinwände (jeweils 3,30x2,07m), die um das Fahrzeug herum aufgestellt sind. (siehe Abbildung 21). Anhand dieses Aufbaus ist eine realitätsnahe 360° Rundumsicht gewährleistet.

Als Fahrzeug kommt eine originalgetreue Karosserie eines Chevrolet Aveo (Länge: 3920mm, Breite: 1710 mm, Höhe:1500 mm, Radstand:2480 mm) mit vollwertigem Interieur und vollem Funktionsumfang zum Einsatz. Alle Spiegel sowie die Sitzposition sind frei einstellbar und an die jeweiligen Bedürfnisse der unterschiedlichen Versuchsteilnehmer anpassbar. Das aufgebaute Fahrzeug ist zudem als Automatikgetriebe ausgeführt und wird über Bremspedal, Gaspedal und Lenkrad gesteuert. Die Fahrgeräusche werden mit den im Fahrzeug montierten Lautsprechern simuliert. Die Datenaufzeichnungsrate beträgt 60 Hz.

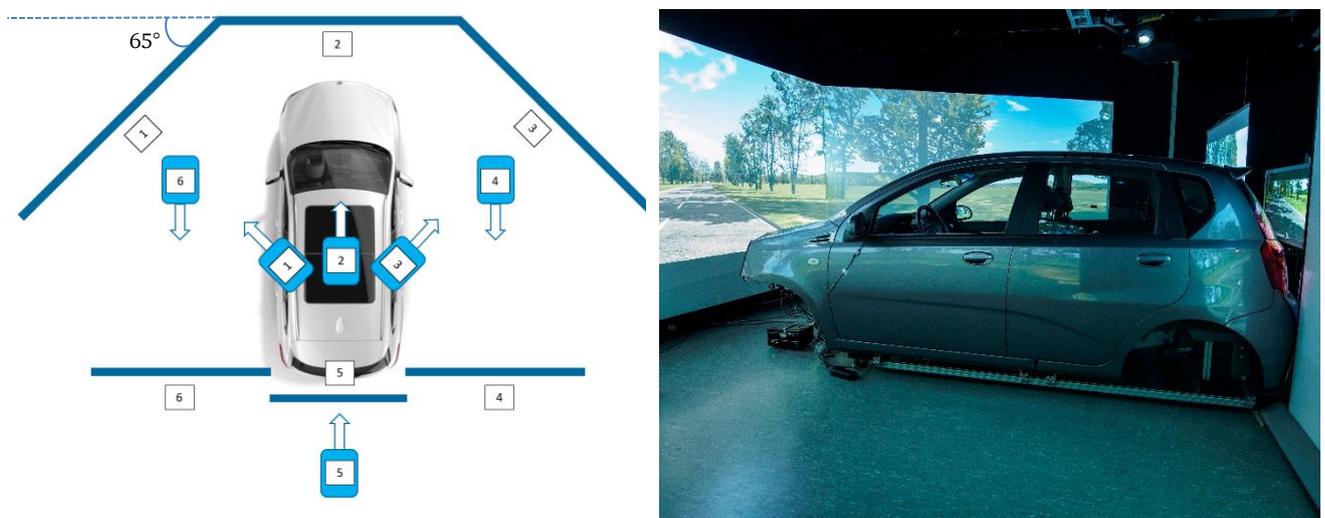


Abbildung 21: Schematischer Aufbau der sechs Projektionsflächen (links; Bier et al. 2018) und Abbildung des Fahrzeug-Mock-Ups (rechts; Foto: Sebastian Keuth)

5.3. Datenerhebung und Dateninterpretation

Müdigkeit ist nicht direkt messbar, sondern nur deren Folgeerscheinungen. Da diese jedoch von Person zu Person unterschiedlich sein können, deutet sich hier schon eine erste Schwierigkeit bezüglich der Interpretation an. Um den Grad der Müdigkeit einschätzen zu können, müssen Werte, ab denen die Leistungsfähigkeit abnimmt, bekannt sein (Langer, Abendroth & Bruder, 2012).

Zu diesem Zweck wurde eine umfangreiche Literaturrecherche betrieben, welche Kennwerte identifizierte, mit denen auf Müdigkeit geschlossen werden kann. Die Methodensammlung und Messwertauswahl ist in Bier und Wolf et al. (2018) zusammengefasst. Für die Versuchsdurchführung wurde letztlich eine Kombination aus Messwerten gewählt, darin enthalten sind Werte der subjektiven Bewertung, der psycho-physiologischen Erregung und der Fahrleistung.

5.3.1. Mentale Beanspruchung

Zur Messung der Beanspruchung wurde eine deutsche Kurzform (Giesa, 2003) des NASA Task Load Index (NASA TLX, Hart & Staveland, 1988) verwendet. Der NASA TLX ist der am weitesten verbreitete und der etablierteste Fragebogen zur Auswertung der mentalen Beanspruchung (Grier, 2015).

Dieser Fragebogen wurde den Versuchspersonen nach jeder Simulationsfahrt in Papierform ausgehändigt (siehe Anhang 4: Fragebogen A nach Versuchsfahrt), sodass jeder Proband insgesamt dreimal den Fragebogen im Laufe der Studie ausgefüllt hat.

Er misst die aufgabenbezogene, subjektive Beanspruchung bezogen auf sechs Dimensionen: „geistige Anforderung“, „körperliche Anforderung“, „zeitliche Anforderung“, „Leistung“, „Anstrengung“ und „Frustration“. „Geistige Anforderung“, „körperliche Anforderung“ und „zeitliche Anforderungen“ sind Subskalen der Aufgabenmerkmale. Verhaltensmerkmale enthalten die Subskalen „Leistung“ und „Anstrengung“. „Frustration“ dient als Subskala für individuelle Merkmale.

Es handelt sich bei dieser Version um eine Kurzform, da in der längeren Version zudem noch Paarvergleiche zur Gewichtung zwischen den Dimensionen aufgestellt werden. Da der Fahrversuch schon sehr viel Zeit in Anspruch nahm, war es ein Bestreben, die anschließende Befragung der Probanden so kurz und ökonomisch wie möglich zu halten. Die Bewertung der einzelnen Anforderungen erfolgt auf einer 20 stufigen Skala im Wertebereich von 0-100. Dabei wird die Dimension immer von 0 für „gering“ bis 100 für „hoch“ bewertet.

Die Gesamtpunktzahl berechnet sich in der Kurzform über den Mittelwert der sechs Dimensionen.

Eine Metaanalyse über 237 Studien von Grier (2015) hat ergeben, dass Gesamtpunktwerte unter 36,77 im globalen unteren Quartil und Gesamtpunktwerte über 60,00 im globalen oberen Quartil der Erhebungen mit dem Fragebogen NASA-TLX liegen. Dieser Analyse zufolge werden im weiteren Verlauf Werte unter 36,77 als ein Indiz für Unterbeanspruchung gewertet.

In der näheren Vergangenheit wird sich vermehrt dafür ausgesprochen, die Dimensionen des NASA TLX separat zu betrachten, da insbesondere bei objektiv mentaler Unterbeanspruchung von Probanden eine objektiv nicht nachvollziehbare, hohe körperliche Anforderung empfunden werden kann, die den Gesamtpunktwert stark verzerren kann (Galy, Paxion & Berthelon, 2017).

5.3.2. Psycho-physiologische Müdigkeit

Die subjektive Bewertung der Wirkungsweise des Interaktionssystems wurde unter verschiedenen Gesichtspunkten erhoben. Zum einen gilt es herauszufinden, ob die subjektive Müdigkeitsbewertung der Probanden einen Unterschied zwischen den Fahrten aufweist, zum anderen soll untersucht werden, ob sich die psycho-physiologische Aktiviertheit der Probanden bei den Fahrten unterschied.

Zur Erfassung der psycho-physiologischen Erregtheit wurden insgesamt drei verschiedene Messsysteme eingesetzt. Es wurde die Elektrodermale Aktivität (EDA), die Elektrokardiographie (EKG) und der Lidschluss der Probanden aufgezeichnet. Die Aufzeichnung aller Parameter erfolgte durchgängig über die gesamte Versuchsdauer. Zur Aufzeichnung der Lidschlussfrequenz wurde eine Eyetracking Brille der Firma SMI verwendet (SMI ETG 2 System) und zur Aufzeichnung von EDA und EKG wurde das Varioport System der Firma Becker Meditec verwendet.

Subjektive Müdigkeitsbewertung:

Zur subjektiven Untersuchung der Müdigkeit wurden sowohl individuenzentrierte Instrumente (unstrukturierte Interviews) als auch standardisierte Messverfahren entwickelt. Da unstrukturierte Interviews einen sehr hohen Aufwand darstellen und zudem keine hohe Standardisierung bieten, wird ein Selbstrating-Verfahren zur Erfassung der Müdigkeit genutzt.

Die eingesetzte „Karolinska-Sleepiness-Scale (KSS)“ (Åkerstedt & Gillberg, 1990) geht ursprünglich aus der „Stanford Sleepiness Scale“ von Hoddes, Dement und Zarcone (1972) hervor. Es handelt sich um eine neun-stufige Skala, von „1- äußerst aufmerksam“ bis „9- sehr schläfrig und große Anstrengung nötig, um wach zu bleiben (Kampf gegen den Schlaf)“. Die Probanden kreuzen die jeweils zutreffende Zahl an. Nach Åkerstedt und Gillberg (1990) weisen die psychometrischen Messverfahren zur Müdigkeit eine zufriedenstellende, kriteriumsbezogene Validität auf.

Die Müdigkeit wurde lediglich vor und nach jeder Simulationsfahrt mittels der Karolinska-Sleepiness-Scale erfasst, da durch eine kontinuierliche Befragung und Selbsteinschätzung während der Versuchsfahrten die Monotonie abgebaut und verfälscht und den eigentlichen Stand der Müdigkeit (Schmidt, E. A., Schrauf, Simon, Buchner & Kincses, 2011) verschleiern kann. Auch wenn die Skala ursprünglich zur Erfassung der Schläfrigkeit erhoben wurde, kann sie nach Vanlaar et al. (2008) zur Erfassung der Müdigkeit herangezogen werden. Letzteres gilt insbesondere, wenn die Differenzentwicklung zwischen Vor- und Nacherhebung herangezogen wird.

Aus den recherchierten Publikationen zu Monotonie-Fahrversuchen (siehe Bier, Wolf et al., 2018) konnten sechs Studien herangezogen werden, die eine Versuchsdauer von mindestens 120min aufweisen und die Karolinska-Sleepiness-Scale als Müdigkeitsskala verwendet haben. Aus dieser Liste ist ersichtlich (siehe Tabelle 4), dass eine Änderung der Müdigkeitseinschätzung ohne Interaktion von 3,0-3,5 Skalenschritten zu erwarten ist.

Tabelle 4: Entwicklung der Selbsteinschätzung mit der Karolinska-Sleepiness-Scale über den Zeitraum von 120min im Fahrversuch

	KSS Entwicklung ohne Intervention (120min)	Interventionsart	KSS Entwicklung mit Intervention (120min)
Horne und Bauk (2004)	+3,5 (4,0 -> 7,5)		
Ingre, Åkerstedt, Peters, Anund und Kecklund (2006)	+2,2 (6,7 -> 8,9)		
Mets et al. (2011)	+3,4 (3,3 -> 6,7)	Koffein	+2,9 (3,2 -> 6,1)
Reyner und Horne (1998)	+3,3 (4,0 -> 7,3)	Radio	+2,5 (4,0 -> 6,5)
Reyner und Horne (2000)	+3,7 (4,2 -> 7,9)	Koffein	+3,5 (3,8 -> 7,3)
Schramm, Fuchs, Wagner und Bruder (2009)	+3,5 (2,5 -> 6,0)		

Elektrodermale Aktivität:

Die elektrodermale Aktivität bezeichnet im Allgemeinen die bioelektrischen Erscheinungen im Organsystem Haut, die physikalisch u.a. als Leitfähigkeits- bzw. Widerstands- und als Potentialänderungen beschreibbar sind (Vossel, 1990). Die gemessene elektrodermale Aktivität spiegelt die Schweißproduktion in den ekkrinen Drüsen wieder, welche mit steigender Erregung der Probanden und deren Nervenbahnen ansteigt und somit die Hautleitfähigkeit steigert (Reimer, Mehler, Coughlin, Roy & Dusek, 2011).

Die Messung der EDA erfolgte exosomatisch, über zwei im Abstand von 1,5 cm geklebten, nicht polarisierenden Silberelektroden in Verbindung mit einer auf die Elektroden aufgetragenen Elektrodenpaste mit einem Anteil von 0,5% NaCl. Gemäß den Empfehlungen von Boucsein (2012) eignen sich besonders die palmaren und planaren Flächen als optimale Ableitorte der EDA. Da mit den Händen die Lenkbewegungen ausgeführt werden, sollte hier allerdings eine Anbringung aufgrund einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Bewegungsartefakten vermieden werden. Somit stellte sich der Innenrist des linken Fußes als besonders geeignet heraus (Boucsein et al., 2012). Dieser wird aufgrund der Automatikschaltung während der Fahrt nicht benutzt und steht somit für Messungen zur Verfügung. Die Auflösung des Varioport-Systems beträgt 0-50 μ S (Mikrosiemens) bei einer Scanrate von 64Hz. Die Daten wurden, synchronisiert mit den Fahrleistungsdaten, über Silab mit 60Hz aufgezeichnet.

Ausgewertet wird die tonische Hautleitfähigkeit (SCL; ausgewertet mit der Software *Ledalab*), da dieser im Gegensatz zum phasischen Hautleitwert kontinuierlich und ohne Eventabhängigkeit ausgewertet werden kann (Boucsein, 2012). Zuvor wurden die Werte einer Range Korrektur nach Lykken und Venables (1971) unterzogen, um sie innerhalb der Studie vergleichbar zu machen. Generell ist anzumerken, dass ein Vergleich der Werte aus dieser Studie zu anderen Studien nur wenig Aussagegehalt hat, da die Einflüsse von Messsystem, Leitpaste, Elektroden, Klebefläche und Klebeabstand der Elektroden sowie die individuellen probandenabhängigen Einflüsse einen Vergleich kaum zulassen (Braithwaite, Watson, Jones & Rowe, 2015). Insofern wird die SCL nur zum Vergleich

zwischen den drei im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführten Fahrversuche herangezogen. Dabei steht ein niedriger Wert grundsätzlich für eine verringerte Aktiviertheit und ist ein Indiz für erhöhte Müdigkeit.

Elektrokardiografie (EKG):

Zur Bestimmung der Herzaktivität wird ein Elektrokardiogramm (EKG) verwendet. Die elektrische Aktivität der Herzmuskelfasern wird über Elektroden an der menschlichen Brust erfasst. Durch die Identifizierung sogenannter R-Wellen kann die Frequenz des Herzschlags ausgewertet werden (siehe Abbildung 22 links). Die Herzfrequenz wurde mittels dreier Einwegelektroden erfasst, die entsprechend den Herstellerangaben des Varioport Messsystems geklebt wurden. Dieser empfiehlt eine Ableitung vom oberen Ende des Brustbeins gegen den linken untersten Rippenbogen. Die Masseelektrode des Aufzeichners wird am Schwertfortsatz geklebt, welcher sich am unteren Ende des Brustbeins befindet (siehe Abbildung 22 rechts). Die Herzschlagdaten wurden mit 512Hz aufgenommen und mit 60Hz synchron mit den Fahrzeugdaten über die Silab 5.1 Simulationssoftware aufgezeichnet.

Die am häufigsten verwendete Charakteristik der Herzfrequenz wird durch das Zeitintervall zwischen zwei Herzschlägen (Inter-Beat-Intervall; IBI;) und der Anzahl der Schläge pro Minute (Herzschlagrate; HR) definiert (siehe Larue et al., 2011). Das Verhältnis der beiden Größen zueinander lässt sich wie folgt ausdrücken:

$$IBI \text{ in Sekunden} = RR_i ; HR \text{ in S/min} = \frac{60}{IBI}$$

Es ist wissenschaftlich unumstritten, dass die Herzschlagrate mit zunehmender Müdigkeit abnimmt (siehe z.B. DaCoTA, 2012; Lal & Craig, 2002). Wie auch bei den Messwerten der Elektrodermalen Aktivität überlagern sich jedoch bei den Messwerten der Elektrokardiografie unterschiedliche Einflüsse, sodass es schwierig ist, allgemeine Aussagen zur Entwicklung der Messdaten bei einem Auftreten von Müdigkeit zu treffen. So hat beispielsweise schon allein die beim Fahrversuch eingenommene Sitzposition ein Absinken der Herzschlagrate zur Folge, da der Bewegungsapparat des Probanden kaum aktiviert wird (Muehlhan, Marxen, Landsiedel, Malberg & Zaunseder, 2014). Vergleichbare monotone Versuchskonzepte, die über die gleiche Dauer von zwei Stunden die Herzschlagrate analysierten, konnten nur wenige identifiziert werden (siehe Tabelle 5). Es lässt sich jedoch zusammenfassen, dass die Herzschlagrate bei Ermüdung im 2-stündigen Fahrversuch um 6-11 Schläge sinkt und die IBI entsprechend ansteigt.

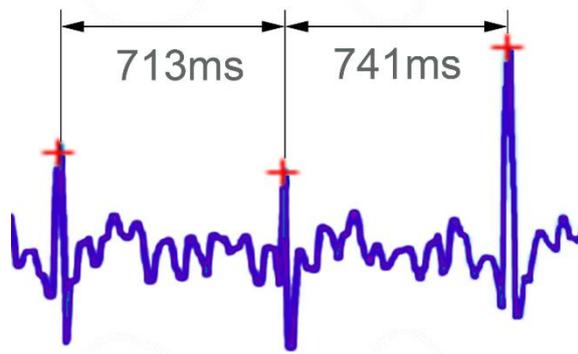


Abbildung 22: Veranschaulichung zweier R-Zackenabstände zwischen 3 Herzschlägen dargestellt im EKG als R-Zacken (links) Klebepunkte der EKG-Elektroden auf dem Oberkörper (rechts)

Ergänzend zur Herzfrequenz kann auch die Herzfrequenzvariabilität (HRV) verwendet werden. Dieser Parameter drückt im Wesentlichen die Änderungsrate der Herzfrequenz aus. Sie kann anhand verschiedener Kenngrößen bewertet werden. In dieser Arbeit wird die Standardabweichung der R-Zackenabstände (IBI) verwendet (SDNN; siehe Abbildung 22). Im Gegensatz zur Herzfrequenz selbst, steigt die Herzfrequenzvariabilität jedoch mit zunehmender Müdigkeit an (Wierwille, Ellsworth, Wreggit, Fairbanks & Kirn, 1994). Da die Herzfrequenz durch eine Vielzahl unterschiedlicher Kenngrößen beschreibbar (vgl. z.B. Tarvainen, Niskanen, Lipponen, Ranta-Aho & Karjalainen, 2014) ist, ließen sich auch bei der Herzfrequenzvariabilität nur einige wenige Quellen finden, die eine vergleichbare Untersuchung mit der SDNN als Kenngröße durchgeführt haben (siehe Tabelle 6). Die interessanteste und auch vom Versuchskonzept ähnlichste Untersuchung von Gershon et al. (2009) stellte eine starke Zunahme der SDNN von bis zu 280% über die Zeit fest, während Interaktionen sank sie jedoch rapide auf nahezu den Ausgangszustand ab.

Tabelle 5: Entwicklung der HR und der IBI in unterschiedlichen Fahrversuchen

	Messgröße	Beobachtete Veränderungen	Fahrdauer
Dureman und Boden (1972)	HR	Ermüdung: 78 -> 67 S/min	2:00h
Heine et al. (2017)	HR	Hohe mentale Beanspruchung: 83 S/min Niedrige mentale Beanspruchung: 73 S/min	0:06h
Lal und Craig (2002)	HR	Ermüdung: 68 -> 62 S/min	2:00h
Larue et al. (2011)	HR	Hohe -> Niedrige mentale Beanspruchung: -10%	0:40h
Milosevic (1997)	HR	Arbeitstag Busfahrer: 96 -> 86 S/min	8:00h (Arbeitstag)
Schmidt, E. A. et al. (2011)	HR	Ermüdung.: 76 -> 72 S/min	4:00h
Tjolleng et al. (2017)	IBI	Hohe mentale Beanspruchung: 0,94 relativer IBI Mittlere mentale Beanspruchung: 1,00 relativer IBI Niedrige mentale Beanspruchung: 1,05 relativer IBI	4x0:02h
Waard und Brookhuis (1991)	IBI	Ermüdung.: 740 -> 825 ms	3:00h

Tabelle 6: Entwicklung der SDNN in unterschiedlichen Fahrversuchen

	Messgröße	Beobachtete Veränderungen	Fahrdauer
Gershon et al. (2009)	SDNN	ohne Interaktion: 180%-280% zu Baseline während Interaktion: 100-110% zu Baseline (Effekt lässt schnell nach)	2:20h
Heine et al. (2017)	SDNN	Baseline: 54,6 Kognitive Anspannung: 42,81 Entspannung: 69,45	0:06h
Tjolleng et al. (2017)	SDNN	Hohe Belastung: 0,99 relative SDNN Mittlere Belastung: 1,00 relativer SDNN Niedrige Belastung: 1,01 relativer SDNN	4x0:02h

Lidschlussfrequenz:

Die Lidschlussfrequenz gibt an, wie viele Lidschläge durchschnittlich pro Minute unwillkürlich und willkürlich erfolgen. Nach Hargutt (2003) ist die Lidschlussfrequenz/ Lidschlussrate ein besonders geeigneter Indikator, um die Müdigkeit eines Fahrers zu bestimmen. Dabei ist zu beachten, dass die Lidschlussrate wie die übrigen bisher vorgestellten psycho-physiologischen Parameter individuell sehr unterschiedliche Wertebereiche annehmen kann.

Der Lidschluss wurde in den Fahrversuchen mit einer Eyetrackingbrille ETG2 der Firma SMI aufgezeichnet. Die Auswertung erfolgte hinsichtlich der Lidschlagfrequenz. Stern, Schroeder, and Stroliarov (1996) wiesen nach, dass die Lidschlussfrequenz mit steigender Müdigkeit zunimmt, bevor sie kurz vor dem Einschlafen rapide abnimmt (Platho, Pietrek & Kolrep, 2013). Die Erkenntnisse weiterer Studien sind in Tabelle 7 zusammengetragen. Demnach nimmt die Lidschlussfrequenz im Fahrversuch je nach Versuchsdesign um ein Vielfaches durch den Einfluss von Monotonie zu. Die Erkenntnisse von Haider und Rohmert (1976) deuten darauf hin, dass dies solange geschieht, bis der Fahrer die Fahraufgabe zunehmend aufgibt und sich der Müdigkeit hingibt, dann sinken die Lidschlusswerte deutlich ab.

Normale Ausgangswerte sind dabei kaum zu bestimmen, da die unterschiedlichen Versuchsdaten, aufgrund unterschiedlicher Probanden in einem Wertebereich von 6,5 S/min bis zu 58 S/min liegen. Diese breite Spanne ist auch bedingt durch unterschiedliche Messverfahren und Systeme. Während einerseits in der Vergangenheit häufig mit einem Elektrookulogramm gearbeitet wurde (z.B. Pfaff, Fruhstrofer & Peter, 1976), kommen heute, wie auch in der vorliegenden Studie, vermehrt videobasierte Eyetracking-Verfahren zum Einsatz (z.B. Benedetto et al., 2011).

Unterschiedliche Einflussfaktoren, wie beispielsweise das Führen eines Gespräches, heben oder senken die Lidschlussrate auf ein eigenes Wertenniveau (siehe Tabelle 8). Solche Einflussfaktoren sind in dieser Untersuchung durch das Beifahrergespräch und die Interaktion mit einem technischen System mit zwei Displays gegeben. Um dennoch die Vergleichbarkeit zwischen den drei Versuchsfahrten zu gewährleisten, wird in der vorliegenden Arbeit die prozentuale Änderung der Lidschlussfrequenz

bezogen auf das jeweils erste Interaktionsintervall (siehe Abschnitt 5.6) betrachtet und nicht die absolute Lidschlussfrequenz.

Tabelle 7: Entwicklung der Lidschlussfrequenz in unterschiedlichen Fahrversuchen

	Beobachtete Veränderungen [Lidschläge/min]	Versuchsbeschreibung und Angaben
Benedetto et al. (2011)	58 S/min Referenzwert in Ruhe 32-46 S/min bei Suchaufgaben 43 S/min Endwert	Simulationsfahrt mit visueller Suchaufgabe. 6x3 Minuten Fahrtzeit
Cegovnik, Stojmenova, Jakus und Sodnik (2018)	13,2 S/min Referenzwert in Ruhe	Kurzzeit Simulatorfahrten mit Nebenaufgabe
Forbes (1958) zitiert nach Hargutt (2003)	17% Anstieg ohne Schlafentzug 33% Anstieg mit Schlafentzug	160 min Normalfahrt
Gille, Otto und Ullsperger (1977) zitiert nach Meinold (2005)	6,5 S/min Wach - keine Arbeitsleistung 7,5 S/min Lesen oder Schreiben 13,6 S/min Kopfrechnen ohne Zeitdruck 15 S/min Rechenaufgaben mit Zeitdruck	Referenzwerte für <u>6-minütige</u> Versuche
Haider und Rohmert (1976)	100% Anstieg bei gleicher Leistung 25% Abfall der Lidschlussfrequenz bei nur noch 50% Leistungsniveau	240 min LKW-Fahrt im Simulator
Körber, Cingel, Zimmermann und Bengler (2015)	18 S/min Referenzwert in Ruhe 25,8 S/min Wert nach Autofahrt	42 min Fahrversuche
Lecret und Pottier (1971)	23% Anstieg über Versuchsdauer	360 min Realfahrt
Maffei und Angrilli (2018)	32,4 S/min leichte Aufgabe 33 S/min mittlere Aufgabe 28,8 S/min schwere Aufgabe	7-minütige Konzentrationsaufgaben
Pfaff et al. (1976)	~300% Anstieg (12-15 S/min -> 40 S/min)	180 min Realfahrt
Stern, Schroeder und Stroliarov (1996)	34% Anstieg (13,4 -> 18 S/min)	110 min Air-Traffic-Control

Tabelle 8: Beeinflussende Faktoren und deren Auswirkung auf die Lidschlussfrequenz im Fahrversuch (auf Grundlage von Hargutt, 2003; Meinold, 2005; Schmidt, D., 2008; Stern et al., 1996)

Störender Einflussfaktor	Wirkung
Visuelle Forderung	Erhöht Lidschlagfrequenz
Kurven beim Autofahren	Senkt Lidschlagfrequenz
Rechenaufgaben	Erhöht Lidschlagfrequenz
Blicke nach unten	Erhöht Lidschlagfrequenz
Blickbewegungen	Erhöht Lidschlagfrequenz
Zugluft	Erhöht Lidschlagfrequenz
Gespräche (visuelle Ablenkung)	Erhöht Lidschlagfrequenz
Lesen	Senkt Lidschlagfrequenz
Bildschirmarbeit	Senkt Lidschlagfrequenz
Visuelle Fixierung	Senkt Lidschlagfrequenz

5.3.3. Vigilanz

Vigilanz bezeichnet die dauergerichtete Aufmerksamkeit auf reizarme Aufgaben und wurde zuerst von Mackworth (1948) mittels des sogenannten Uhrzeigertests untersucht. Heute gibt es eine Vielzahl von

Testdesigns, die häufig eine Reaktion eines Probanden auf ein bestimmtes Signal einfordern (vgl. Körber et al., 2015; Philip, Sagaspe, Taillard et al., 2005; Simon et al., 2011). Diese Tests stören allerdings die monotone Aufgabe, die es zu untersuchen gilt, durch eine Nebenaufgabe und beeinflussen nach eigener Auffassung die gewohnten Verhaltensweisen der Probanden bei der Fahrzeugführung. Aus diesem Grund wurde eine eigene Untersuchungsmethode zur Vigilanzermessung entwickelt. Die Vigilanzmessung erfolgt hierbei über zwei Indikatoren, eine Schildererfassungsabfrage und einen Reaktionstest.

Schildererfassungstest:

Zum einen sind auf der insgesamt 240 km langen Fahrstrecke verschiedene Verkehrsschilder (de)platziert. Das bedeutet, dass Verkehrsschilder in drei Ausprägungsstufen so aufgestellt wurden, dass sie im Kontext des gewählten Fahrszenarien unpassend sind. Die Ausprägungsstufen, von denen eine aufsteigende Signalwirkung (siehe Tabelle 9) für den Fahrer zu erwarten ist, lauten:

1. Stufe: Verkehrsschild aus nationalem Straßenverkehr bekannt, aber auf Autobahnen nicht anzutreffen,
2. Stufe: Verkehrsschild Form/Farbgebung bekannt, aber Warninhalt nicht (z.B. Schild *Elchgefahr* ist in Deutschland nicht anzutreffen),
3. Stufe: Verkehrsschild Form/Farbgebung unbekannt, Inhalt unbekannt (z.B. gelbes Warnschild vor Koalas).

Jeweils ein Schild jeder Ausprägungsstufe war pro Fahrszenario an der Strecke platziert. Im Anschluss an die Versuchsfahrt musste der Proband die falschen Schilder aus einer Liste identifizieren (siehe Anhang 5: Fragebogen B nach Versuchsfahrt (Version A,B&I)). Dazu erhielt er eine Liste von 12 Schildern, von denen 9 nicht während der Fahrt erschienen sind. Die neun nicht auf der Strecke erschienenen Schilder waren auf den Fragebögen für alle drei Fahrten identisch und lediglich in der Anordnung randomisiert. Da die Methode selbst entwickelt ist, liegen keine Vergleichswerte aus anderen Studien vor. Allerdings spricht eine hohe Schildidentifizierungsrate für eine hohe Aufmerksamkeit während der Ausführung der Fahraufgabe, da die Schildererfassung einen Bestandteil der Fahraufgabe bildet (Fastenmeier & Gstalter, 2007).

Damit die Gefahr eingegrenzt werden kann, dass von den Probanden geratene Antworten die Auswertung verfälschen, mussten diese eine Qualifizierungsfrage richtig beantworten, bevor sie den Fragebogen zur Schildererfassung erhielten (siehe Abbildung 23).

Von den folgenden Aussagen ist lediglich eine Einzelne korrekt. Bitte kreuzen sie **nur eine Aussage an!**

Achtung! Die Fahrstrecken der verschiedenen Versuchstermine sind nicht identisch

- Ich habe Fahrbahnmarkierungen passiert, welche segmentweise farblich bunt gestaltet waren
- Ich habe auf der Fahrstrecke landwirtschaftliche Traktoren überholt
- Ich habe Verkehrsschilder passiert die auf deutschen Autobahnen nicht vorzufinden sind
- Ich habe Fußgänger passiert die sich in direkter Nähe zur Fahrbahn aufgehalten haben
- An den Brücken die ich unterfahren habe waren Werbetafeln angebracht
- Ich bin mit dem Fahrzeug über Brücken gefahren, die Flüsse kreuzten

Abbildung 23: Vorbefragung zur Qualifizierung zum Schildererkennungsfragebogen

Tabelle 9: Auf Versuchsstrecke deplatzierte Verkehrsschilder zur Vigilanzermessung in drei Signalstufen

	Alleinfahrt A	Beifahrerfahrt B	Interaktionsfahrt I
Signalstufe 1			
Signalstufe 2			
Signalstufe 3			

Reaktionstest:

Während die Vigilanzmessung über die Schilderkennungsrate nur passiv erfolgte, also im Nachhinein abgefragt wurde, wurde ein weiterer Test in die Fahrstrecke implementiert, der die Vigilanz aktiv überprüfte. Bei Streckenkilometer 232 und einer Vorgabegeschwindigkeit von 100 km/h wurde ein in 120 Metern Abstand auf die Fahrspur laufendes Wildschwein simuliert. Zur Erfassung der Vigilanz wird die Reaktionszeit der Probanden herangezogen. Diese Reaktionstests wurden auch von Steinberger et al. (2017) und Neubauer et al. (2014) durchgeführt. Als Reaktion werden sowohl eine Betätigung des

Bremspedals als auch ein Lenkmanöver gewertet. Neubauer (2014) hat in ihrer Simulatorstudie eine durchschnittliche Reaktionszeit der Probanden auf die Gefahrenquelle von 1,5s ermittelt. Die Gefahrenquelle erschien bei allen Probanden nach ungefähr 42 Minuten. Steinberger et al. (2017) haben dazu leider keine Angaben gemacht.

Der Wildwechsel wurde außerdem zeitgleich zu einer laufenden Interaktion mit dem Interaktionssystem simuliert, um die Verteilung der Aufmerksamkeit zwischen Fahraufgabe und Interaktionssystem zu überprüfen.

Da der Wildwechsel erst zu einem sehr späten Zeitpunkt im Fahrversuch simuliert wird, um die Probanden zuvor nicht aus der Monotonie herauszuziehen, und so die übrigen Messwerte zu beeinflussen, ist es nach den Erkenntnissen von Karrer-Gauß (2011) und Greschner (2011) nicht unwahrscheinlich, dass zu diesem Zeitpunkt alle Probanden unabhängig der Interaktionsform bereits ein sehr hohes Müdigkeitsniveau erreicht haben, was den Reaktionstest stark beeinflussen kann.

5.3.4. Fahrleistung

Die Fahrleistungsdaten wurden direkt über die Fahrsimulatorsoftware Silab mit 60Hz aufgezeichnet und konnten im Anschluss für alle Probanden analysiert und gemittelt werden. Die unterschiedlichen erhobenen und ausgewerteten Fahrleistungsdaten sind im Folgenden beschrieben. Die Auswahl ist auf Bier und Wolf et al. (2018) zurückzuführen.

Geschwindigkeit:

Bezüglich der Geschwindigkeit ist zunächst zwischen der gefahrenen Geschwindigkeit und der Sollgeschwindigkeit zu unterscheiden.

Die Geschwindigkeit ist eine gerichtete physikalische Größe. Sie hat in jedem Punkt stets einen bestimmten Betrag und eine bestimmte Richtung. Definiert wird sie als die Änderung des Wegs eines Objekts pro Zeit. Im weiteren Verlauf wird sie in km/h angegeben.

Die Sollgeschwindigkeit hingegen wird oftmals auch als Richtgeschwindigkeit bezeichnet. Sie entspricht einer, bezogen auf einen konkreten Fahrabschnitt, durch den Gesetzgeber vorgegebenen Geschwindigkeit. Der Fahrzeugführer ist angewiesen diese gemäß StVO einzuhalten und mittels Gas- und Bremspedals möglichst exakt zu halten. Sie wird in km/h angegeben und im Folgenden als Sollgeschwindigkeit bezeichnet. Auf der simulierten Strecke war die Sollgeschwindigkeit stets auf 100 km/h oder 120 km/h beschränkt. Die Probanden waren vor Fahrtantritt angehalten, sich an die geltenden Verkehrsbestimmungen zu halten und Geschwindigkeitsbegrenzungen einzuhalten.

Ausgewertet wurden lediglich Streckenabschnitte bei denen die Sollgeschwindigkeit 100km/h betrug. Je mehr die gefahrene Geschwindigkeit der Probanden über diesem Limit liegt, desto unsicherer wird die Fahrweise bewertet. Verschiedene Studien haben die Geschwindigkeit in ähnlicher Weise in Fahrversuchen zur Untersuchung von Fahrermüdigkeit herangezogen (siehe Tabelle 10).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Fälle von Geschwindigkeitsüberschreitungen und die durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit mit zunehmender Müdigkeit ansteigen (vgl. z.B. Campagne, Pebayle & Muzet, 2004; Morales et al., 2017). Ebenso nimmt die Standardabweichung der gefahrenen Geschwindigkeit zu, was bedeutet, dass die Fahrer aufgrund ihrer Müdigkeit die Geschwindigkeitsregelung vernachlässigen und zunehmend in stärkeren Ausmaßen korrigieren (Gershon et al., 2009). Die Untersuchungen von Reimer et al. (2011) zeigen, dass eine verbale Interaktion mittels Freisprecheinrichtung im Gegenzug die Geschwindigkeit wieder verringert und auch Steinberger et al. (2017) konnten mit ihren Versuchen zeigen, dass zumindest in einem sehr kurzen Fahrversuch durch den Einsatz von Gamification die gefahrene Geschwindigkeit der Probanden verringert, beziehungsweise an die geltenden Geschwindigkeitsbegrenzungen angepasst werden konnte.

Tabelle 10: Entwicklung der Geschwindigkeit in unterschiedlichen Fahrversuchen

	Beobachtete Veränderungen	Versuchsbeschreibung und Angaben
Campagne et al. (2004)	10%iger Anstieg der Geschwindigkeitsüberschreitungen	350km ~2,8h Simulatorversuch bei Nacht
Gershon et al. (2009)	SD Geschwindigkeit: 3,4 km/h - 6,6 km/h ohne Interaktion 3,4 km/h - 4,4 km/h mit Interaktion Annäherung nach 140min	140 Fahrversuch im Simulator mit Interaktionssystem
Mets et al. (2011)	95,49 km/h – 95,58 km/h ohne Koffein 95,45 km/h – 95,61 km/h mit Koffein	240min Fahrversuch im Simulator ohne Koffein vs. Koffein
Morales et al. (2017)	~80%iger Anstieg der Geschwindigkeitsüberschreitungen	120min Fahrversuch im Simulator (60km/h Limit)
Reimer et al. (2011)	Nutzung Freisprecheinrichtung führt zu Minderung der Geschwindigkeit	Max 45min Vergleich Mobiltelefon und Freisprecheinrichtung
Steinberger et al. (2017)	Verringerung der Geschwindigkeitsüberschreitungen von 34% auf 28% durch Interaktionssystem	20min Fahrversuch im Simulator mit Interaktionssystem
Ting et al. (2008)	Zunahme der Standardabweichung der Geschwindigkeit von 4,8km/h auf 9,5 km/h	90min Fahrversuch im Simulator

Spurhaltung:

Zur Bewertung der Spurhaltung wird die Standardabweichung der lateralen Position (SDLP) berechnet. Die gefahrene Laterale Position unterscheidet sich zwischen den unterschiedlichen Probanden sowie zwischen verschiedenen Fahrern im realen Straßenverkehr, da nur die wenigsten Fahrer ihr Fahrzeug in der exakten Fahrstreifenmitte manövrieren. Die Standardabweichung dieser Größe beschreibt jedoch, wie sehr die Probanden um ihre gewählte Fahrspur auf dem Fahrstreifen schwanken. Je näher die gewählte Fahrspur an der Fahrbahnmarkierung liegt, beziehungsweise je weiter sie von der Fahrstreifenmitte entfernt ist, desto geringer ist die Kulanz und die akzeptable Standardabweichung der lateralen Position (siehe Abbildung 24).

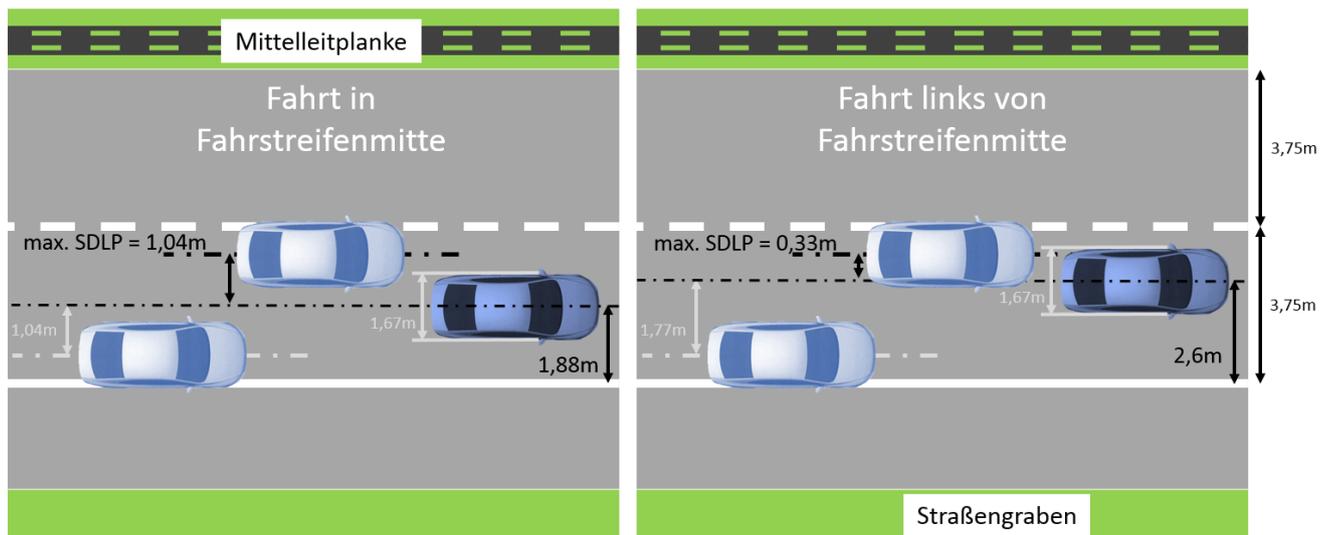


Abbildung 24: Maximal akzeptable SDLP in Abhängigkeit der gewählten Fahrspur auf dem Fahrstreifen

Ein maximal zulässiger Wert für die SDLP ist nicht definiert und ist aufgrund der unterschiedlichen Fahrspuren auch nicht sinnvoll. Dennoch gibt die SDLP Informationen über den Müdigkeitszustand des Fahrzeugführers. In nahezu allen recherchierten Studien (siehe Tabelle 11) liegt die SDLP bei ausgeruhten Probanden zu Beginn der Fahrversuche bei etwa 20cm. Dieser Wert steigt in den Versuchen mit zunehmender Fahrdauer an. Ein direkter Zusammenhang zwischen einem damit verbundenen Anstieg der Müdigkeit wurde unter anderen von Rimini-Doering, Manstetten, Altmueller, Ladstaetter und Mahler (2001) nachgewiesen. Atchley et al. (2014), Gershon et al. (2009) und Steinberger et al. (2017) zeigten, dass verbale Interaktion und Kommunikation realer oder technischer Natur zu einer über den Fahrversuch stabilen Querführung des Fahrzeugs beitragen. Gershon et al. (2009) stellten allerdings fest, dass sich nach 140 Minuten eine zunehmende Annäherung der SDLP ungeachtet der Interaktionsform einstellt, sodass hier auf ein zeitliches Limit der Wirkung eines Interaktionssystems geschlossen werden kann. Um zunächst die laterale Position des Fahrzeugs zu bestimmen, gibt es zwei Möglichkeiten. Zum einen kann der Abstand zwischen der Fahrzeugmitte und der Mitte des rechten Fahrstreifens berechnet werden (Arnedt et al., 2001; Boyle, Tippin, Paul & Rizzo, 2008; Otmani et al., 2005) und zum anderen kann als Referenz auch der Abstand zwischen der Fahrzeugmitte und der rechten Fahrbahnmarkierung des rechten Fahrstreifens herangezogen werden (Gastaldi, Rossi & Gecchele, 2014; Rossi, Gastaldi & Gecchele, 2011).

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde das erste Verfahren angewandt, bei dem der Abstand der Fahrzeugmitte zur rechten Fahrstreifenmitte mittels der Simulationssoftware SILAB errechnet wurde. Streckenabschnitte mit einem Kurvenverlauf oder erzwungenen Überholmanövern wurden von den jeweiligen Intervalldaten (siehe Abschnitt 5.6) ausgeschlossen.

Tabelle 11: Entwicklung der Standardabweichung der Lateralposition (SDLP) in unterschiedlichen Fahrversuchen

	Beobachtete Veränderungen	Versuchsbeschreibung und Angaben
Atchley et al. (2014)	Ø 0,46m ohne verbale Kommunikation Ø 0,39m mit kontinuierlicher verbaler Kommunikation	90min Fahrversuch im Simulator Vergleich verbale Kommunikation
Gershon et al. (2009)	0,24m -> 0,32m ohne Interaktion 0,23m -> 0,28m mit Interaktion Annäherung nach 140min	140 Fahrversuch im Simulator mit Interaktionssystem
Mets et al. (2011)	0,23m -> 0,26m ohne Koffein 0,22m -> 0,24m mit Koffein	240min Fahrversuch im Simulator ohne Koffein vs. Koffein
Rimini-Doering et al. (2001)	0,2m -> 0,55m Zunahme der SDLP mit zunehmender Müdigkeit	180min Fahrversuch im Simulator
Steinberger et al. (2017)	0,17m ohne Interaktion 0,16m mit Interaktion	20min Fahrversuch im Simulator mit Interaktionssystem (40km/h Limit)
Ting et al. (2008)	0,2m -> 0,49m Zunahme der SDLP mit zunehmender Müdigkeit	90min Fahrversuch im Simulator

Vorfälle:

Eine gängige Möglichkeit der Fahrleistungsvalidierung, die häufig angewendet wird, ist die Betrachtung stattgefundenener Vorfälle. Allgemein wird unter einem Vorfall die Überschreitung der Fahrstreifenmarkierung verstanden, die infolge nicht beabsichtigter Fahrmanöver eintritt (Fairclough & Graham, 1999; Ting et al., 2008). Die zahlreichen Studien klassifizieren diesen Fahrfehler allerdings unterschiedlich. Einige sprechen bereits von einem Vorfall, wenn nur ein Rad den Fahrstreifen überquert, während für andere alle vier Räder die Fahrbahnmarkierung überfahren haben müssen (Verwey & Zaidel, 1999). Je nach Schweregrad des Fahrfehlers sprechen einige Autoren in diesem Zusammenhang auch von Unfällen (Åkerstedt, Peters, Anund & Kecklund, 2005).

Die Anzahl solcher Vorfälle nimmt mit zunehmender Fahrdauer und Müdigkeit zu, wie der Überblick über verschiedene Studien in Tabelle 12 zeigt. Ein direkter Zusammenhang zu dem zuvor erläuterten Anstieg der SDLP ist dabei nicht von der Hand zu weisen. Besonders beachtlich sind die Untersuchungsergebnisse von Fairclough und Graham (1999) wonach Müdigkeit (induziert durch eine einzige Nacht Schlafentzug) zu mehr Vorfällen führt, als Alkoholkonsum (bei einem Blutalkoholwert von 0,7‰). Ebenso fällt auf, dass die Anzahl der Vorfälle relativ starke Ausprägungen annimmt. So dokumentieren Ting et al. (2008) im Schnitt zu Ende Ihrer Versuche 2,4 Vorfälle/Minute.

Ausgewertet wurde die gemittelte Gesamtzahl an Vorfällen über den gesamten Fahrversuch und diese Anzahl jeweils zwischen den Szenarien verglichen.

In dieser Studie wird ein Vorfall dann angenommen, wenn entweder die linke oder rechte Fahrstreifenmarkierung mit dem Vorder- und Hinterrad überschritten wird. Dies entspricht der Definition vom „Überschreiten der Fahrstreifenmarkierung mit nur einer Fahrzeugseite“, die häufig in der Literatur verwendet wird (Liu, C. C., Hosking & Lenné, 2009).

Tabelle 12: Entwicklung der Vorfälle in unterschiedlichen Fahrversuchen

	Beobachtete Veränderungen	Versuchsbeschreibung und Angaben
Fairclough und Graham (1999)	3 Vorfälle/5min ohne Alkohol 5 Vorfälle/5min mit Alkohol 6 Vorfälle/5min ohne Schlaf	120min Fahrversuch im Simulator ohne Alkohol vs. mit Alkohol vs. Schlafentzug (Nacht zuvor)
Reyner und Horne (2000)	2 - 12 Vorfälle/30min ohne Koffein 1 - 5 Vorfälle/30min mit Koffein	120min Fahrversuch im Simulator mit 5h Schlaf ohne Koffein vs. Koffein
Philip, Sagaspe, Moore et al. (2005)	8 Vorfälle bei ausgeschlafenen Probanden 65 Vorfälle bei Probanden mit Schlafentzug	105min Fahrversuch im Simulator vergleich Schlafentzug zu Ausgeschlafenen
Ting et al. (2008)	Zunahme der Vorfälle von 0,7 1/min auf 2,4 1/min	90min Fahrversuch im Simulator
Verwey und Zaidel (1999)	81 Vorfälle ohne Interaktion 45 Vorfälle mit Interaktion	145min Fahrversuch im Simulator mit Gamebox

Unfälle

Als Extremform der Vorfälle werden die Unfälle gesondert ausgewertet. Als Unfall wird in der zugrundeliegenden Studie das Abkommen von der Fahrbahn nach rechts in den Straßengraben oder nach links über die Fahrstreifen in die Mittelleitplanke verstanden (Abbildung 24). Auch wenn diese Unfälle in den wenigsten Fahrversuchen gesondert ausgewertet werden, da es mit einem hohen analytischen Aufwand verbunden ist, werden die Unfälle in dieser Ausarbeitung angeführt, da sie eine hohe Aussagekraft bezüglich der Sicherheitsrelevanz der Thematik haben und sich durch eine hohe Greifbarkeit auszeichnen.

Campagne et al. (2004) verzeichneten in ihren fast 3-stündigen Fahrversuchen zur Müdigkeitsuntersuchung einen Anstieg der Unfallzahlen zwischen den ersten und letzten 25 Minuten der Fahrversuche um knapp 400%. Dieser Anstieg verlief bis zur Versuchshalbzeit nahezu linear auf etwa 150% und stieg in der zweiten Halbzeit exponentiell an.

Ausgewertet wurde die gemittelte Gesamtzahl an Unfällen über den gesamten Fahrversuch und diese Anzahl jeweils zwischen den Szenarien verglichen.

5.3.5. Nutzungserleben

Neben der Funktionalität eines Produktes ist es grundsätzlich wichtig, dass der Nutzer auch ein positives Erlebnis mit dem Produkt erfährt und verbindet (Thüring & Mahlke, 2007). Dieses Nutzungserleben ist nach dem CUE-Model (Components of User Experience) von Thüring und Mahlke (2007), sowohl von der Wahrnehmung aufgabenbezogener Qualitäten (Nützlichkeit, Benutzbarkeit) als auch von dem mit dem Produkt verbundenen Emotionen (positive und negative Emotionen) und den nicht-aufgabenbezogenen Qualitäten (Visuelle Ästhetik, Status, Bindung) abhängig. Nur aus einer hohen Erfüllung der Ansprüche, die sich in diesen drei genannten Bereichen ergeben, resultiert eine Nutzung des Produktes und ein positives Gesamturteil (siehe Abbildung 25).

Das im Rahmen dieser Untersuchungen entwickelte und verwendete Interaktionssystem auf Basis von Gamification, soll folglich auch hinsichtlich des Nutzungserlebens beurteilt werden, dies geschieht zum

einen mittels des meCUE 2.0 Fragebogens der auf Grundlage des CUE-Modells entwickelt wurde (Minge, Riedel & Thüring, 2013) und zum anderen auf Basis der tatsächlichen Nutzung des Systems durch die Probanden im Fahrversuch.

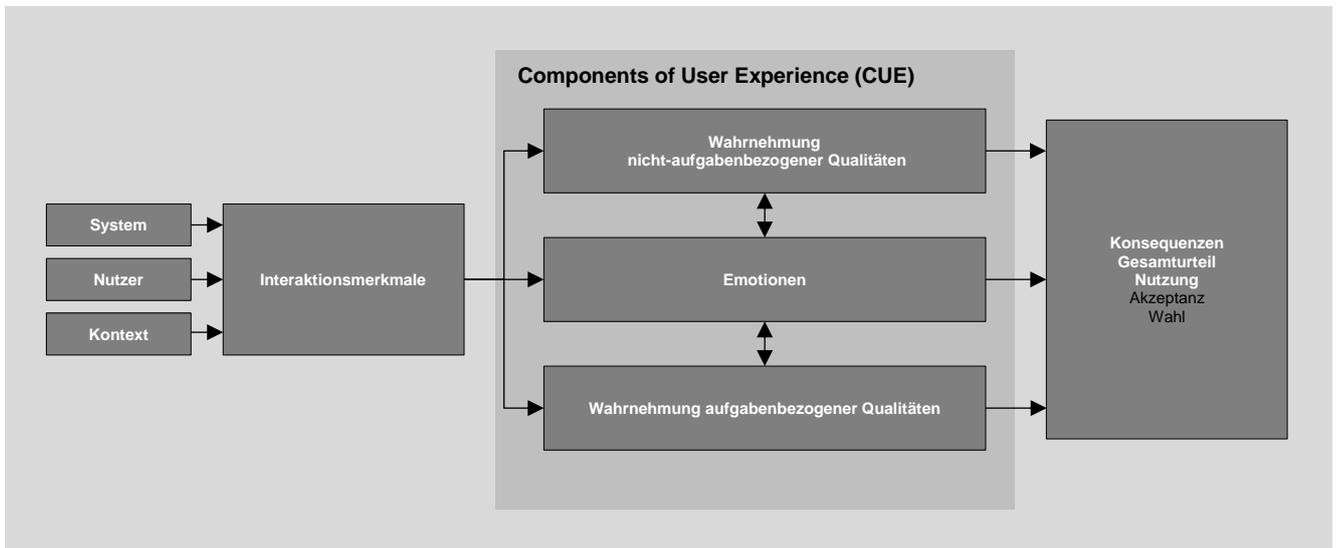


Abbildung 25: CUE-Model des Nutzungserlebens nach Thüring und Mahlke (2007)

Subjektive Beurteilung mittels meCUE - Fragebogen

Der meCUE 2.0 Fragebogen setzt sich aus insgesamt 33 Items zusammen, welche neun unterschiedlichen Dimensionen innerhalb der vier ersten Module des Fragebogens zugeordnet sind (siehe Abbildung 26). Diese Items bestehen jeweils aus einer Aussage, welche der Proband auf einer 7-stufigen Likert-Skala vollständig ablehnen (Wert 1) oder vollständig annehmen (Wert 7) kann. Ein weiteres 34tes Item bildet das Gesamturteil, welches gleichzeitig das fünfte Modul des Fragebogens bildet. Über dieses Item nimmt der Proband auf einer halbstufigen Skala eine Gesamtbeurteilung des Produktes im Wertebereich von -5 bis +5 vor. Der vollständige Fragebogen ist der Ausarbeitung angehängt (siehe Anhang 6: Fragebogen C - meCUE Fragebogen (Versuchsleiter Version)).

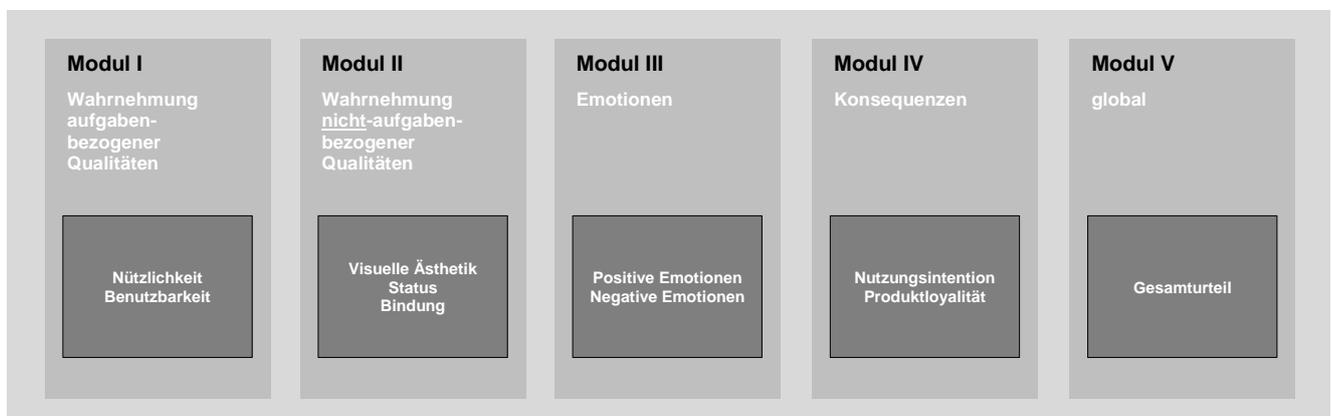


Abbildung 26: Zuordnung der Dimensionen des meCUE- Fragebogens zu dessen fünf Modulen

In Anlehnung an Thüring und Minge (2014) werden im Folgenden die Module des Fragebogens kurz vorgestellt. Das erste Modul des Nutzungserlebens bildet die aufgabenbezogene Qualität des Produktes. Diese wird über die Nützlichkeit und die Benutzbarkeit erhoben. Die Nützlichkeit gibt an, wie zweckmäßig der Nutzer das Produkt findet. Die Benutzbarkeit hingegen beurteilt, wie einfach die Bedienung des Produktes für den Nutzer ist. Beide Dimensionen zusammen beurteilen somit die grundlegende Funktionalität des Produktes.

Das zweite Modul hingegen beurteilt die nicht-aufgabenbezogene Qualität, die sich über die visuelle Ästhetik, den Status und die Bindung des Produktes beurteilen lässt. Ein hoher Wert bei der visuellen Ästhetik steht für ein den Nutzer überzeugendes optisches Erscheinungsbild des Produktes. Ein hoher Wert bei Status steht dafür, dass Nutzer davon ausgehen, dass durch die Nutzung des Produktes ihr eigener gesellschaftlicher Stellenwert gehoben bzw. unterstrichen werden kann. Die Dimension Bindung erfasst letztlich, ob Nutzer insbesondere nach längerer Nutzung des Produktes dieses als bedeutsamen Alltagsgegenstand bewerten.

Das dritte Modul umfasst die positiven und negativen Emotionen. Dabei fassen die positiven Emotionen Gefühle bei der Benutzung zusammen, die als angenehm erlebt werden, so zum Beispiel Zufriedenheit, Entspannung und Begeisterung. Die negativen Emotionen umfassen hingegen Gefühle der Hilflosigkeit sowie Wut und Frustration. Insgesamt ist es wichtig, dass die positiven Emotionen die negativen Emotionen möglichst deutlich überwiegen.

Das vierte Modul umfasst die Interaktionskonsequenzen, nämlich die Nutzungsintention und die Produktloyalität. Die Nutzungsintention zeigt an, ob der Nutzer durch die Erprobung des Produktes motiviert ist, das Produkt weiterhin zu verwenden. Die Produktloyalität dagegen beschreibt, ob der Nutzer in dem speziellen Produkt einen Vorteil gegenüber vergleichbaren Produkten sieht.

Das fünfte Modul steht für das Gesamturteil, das der Nutzer selbst im Nachgang an die übrigen Bewertungen in Form eines Items abgibt.

Seitens der Entwickler des meCUE Fragebogens wurden keine Grenzwerte definiert, die darauf schließen lassen, ab welchen Ergebniswerten es sich um eine eher positive oder eher negative Bewertung handelt. Aus diesem Grund wurden Publikationen herangezogen, die diesen noch sehr jungen Fragebogen verwendet haben und auch die Ergebnisse publiziert haben. Insgesamt konnten drei Publikationen identifiziert werden, die insgesamt 9 Produkte in Probandenversuchen mittels des meCUE- Fragebogens hinsichtlich des Nutzungserlebens beurteilt haben (siehe Tabelle 13). Die Untersuchungsergebnisse von Doria, Minge, Riedel und Kraft (2013) beziehen sich allerdings auf Orthesen, damit sind die bewerteten Produkte kaum mit dem Interaktionssystem dieser Studie vergleichbar. In der Studie von Hinderks, Schrepp und Thomaschewski (2018) wurden hingegen *Whatsapp*, *Netflix* und *Moodle* von Probanden bewertet und somit interaktive Produkte, die in ihren jeweiligen Kategorien eine sehr weite Verbreitung haben und von sehr vielen Personen täglich genutzt werden. Insbesondere *Whatsapp* und *Netflix* wurden

bei der Benutzbarkeit sehr hoch bewertet und erreichen dort beide eine 6,0. Auffällig ist, dass auch bei diesen Produkten die Bewertung des Status und der Bindung verhältnismäßig niedrig sind. Dies ist auf die bereits von Lallemand und Koenig (2017) stark kritisierte Formulierung der Items zu diesen Dimensionen zurückzuführen, so lautet beispielsweise eines der Items zur Dimension Bindung:

„Das Produkt ist wie ein Freund für mich“

In der Studie von Lallemand und Koenig (2017) führte diese Formulierung zu starkem Missverständnis und Verärgerung von Probanden, die den Fragebogen verwendeten.

In der Studie von Minge, Thüning, Wagner und Kuhr (2017) bewerteten die Probanden Applikationen, die Fahrplaninformationen zu öffentlichen Verkehrsmitteln bereitstellen. Da die Applikation *Fahrplan* aufgrund einer schlechten Expertenbeurteilung als Negativbeispiel in die Studie aufgenommen wurde, wird sie für den Vergleich des Interaktionssystems dieser Ausarbeitung als nicht relevant eingestuft.

Somit liegen fünf relevante Produktbewertungen mittels meCUE vor, deren Mittelwerte der einzelnen Dimensionen im Folgenden als Referenz für die Beurteilung des Interaktionssystems dienen sollen (siehe blau markierte Zeile in Tabelle 13).

Tabelle 13: Bewertung des Nutzungserlebens unterschiedlicher Produkte (grün hinterlegt sind relevante Produkte zum Ergebnisvergleich)

	Produkt	Nützlich- keit	Benutzbar- keit	visuelle Ästhetik	Status	Bindung	positive Emotionen	negative Emotionen	Nutzungs- intention	Produkt- loyalität	Gesamt- urteil
Doria et al. (2013) (n=10)	Kniestütze 1	5,5*	5,7*	4,1*	4,2*	3,6*	4,2*	2,8*	4,0*	4,5*	--
	Kniestütze 2	5,2*	5,7*	3,5*	3,6*	2,8*	2,6*	4,4*	2,5*	3,4*	--
	Fußstütze	6,1*	5,9*	3,8*	3,7*	3,4*	4,3*	2,9*	3,5*	4,5*	--
Hinderks et al. (2018) (n=31/64/43)	Whatsapp (n=31)	5,8	6,0	4,1	3,2	2,4	3,3	3,3	3,9	3,6	2,5
	Netflix (n=63)	4,8	6,0	5,2	2,7	2,6	4,5	2,7	5,0	4,3	3,5
	Moodle (n=43)	5,1	4,8	3,5	2,5	2,4	3,2	3,8	3,6	3,3	1,1
Minge et al. (2017) ergänzt durch Daten aus Kuhr (2013) (n=24)	App: DB Navigator (Expertenurteil gut)	5,8*	5,7*	4,6*	2,5*	2,4*	3,6*	2,3*	3,7*	3,9*	3,1*
	App: iFahrinto (Expertenurteil gut)	5,5*	5,0*	4,7*	2,8*	2,5*	3,4*	2,8*	3,4*	3,7*	2,1*
	App: Fahrplan (Expertenurteil schlecht)	3,2*	3,4*	2,5*	1,9*	1,3*	2,1*	4,2*	2,2*	1,8*	-1,8*
	Mittelwert relevanter meCUE Bewertungen	5,2	5,6	4,3	2,8	2,5	3,7	3,3	4,2	3,7	2,4
Hinweis: Daten mit einem „*“ wurden aus Grafiken abgelesen											

Leistung bei Gamification-Aufgaben

Als zweite Komponente zur Bewertung des Nutzungserlebens wird die Leistung bei den Gamification-Aufgaben herangezogen. Nach dem CUE-Modell (Thüning & Mahlke, 2007) ist die tatsächliche Nutzung die direkte Konsequenz des Nutzungserlebens. Im Versuch sind die Probanden zwar angehalten die Gamification-Aufgaben zu befolgen, jedoch lässt sich über die erzielten Punkte in den verschiedenen

Sessions und damit die Leistung feststellen, ob die Probanden über die Versuchszeit diese Aufgabe ernst genommen haben.

In jeder der neun Gamification-Sessions konnten die Probanden insgesamt 120 Punkte erzielen. 60 Punkte davon über die Fahrspiele und weitere 60 Punkte über jeweils 3 Quizfragen. Die Maximalpunktzahl über alle Sessions lag aufsummiert somit bei 1080 Punkten.

Eine Kontinuität beziehungsweise eine Steigerung der erzielten Sessionergebnisse über die Zeit würde somit dafürsprechen, dass die Probanden die Abwechslung durch die Gamification annehmen und bemüht sind, die Aufgaben zu erfüllen.

Eine sinkende Punktzahl über die Zeit ließe sich hingegen sowohl durch zunehmende Müdigkeit als auch durch ein Desinteresse an der Gamification-Interaktion erklären.

Ein positives Ergebnis zur Beurteilung des Nutzungserlebens wäre somit eine mindestens kontinuierliche Durchschnittspunktzahl.

5.4. Versuchsdesign

Die Studie wurde als abhängige Stichprobe geplant, bei der dieselben Probanden mehrere Durchläufe fahren mussten (*within-subjects design*). Die daraus gewonnenen Datensätze wurden anschließend miteinander verglichen. Jeder Proband fuhr eine Fahrt als Baseline-Messung ganz alleine im Fahrzeug, eine Fahrt mit dem Interaktionssystem und eine Fahrt mit einem menschlichen Beifahrer (siehe Abbildung 27). Die zwei in den Versuchen eingesetzten Beifahrer waren den Probanden unbekannt und haben die Gespräche mit den Probanden nach einem vorbereiteten Skript geführt, um eine Vergleichbarkeit zwischen den Probanden zu gewährleisten. Die Beifahrer waren angehalten, Meinungsverschiedenheiten mit den Probanden zu umgehen und keine Anmerkungen zum Verkehrsgeschehen zu äußern. Die Probanden durchliefen die drei jeweils 2,5 stündigen Fahrten in randomisierter Reihenfolge, um Sequenzeffekte auszuschließen.

5.5. Versuchsdurchführung

Vor Antritt der Fahrversuche wurden die Probanden per Telefon oder Mail informiert, dass sie am Tag der Versuche auf die Einnahme von Koffein verzichten sollen und am Vorabend zeitig zu Bett gehen mögen, um ausgeschlafen an den Versuchen teilnehmen zu können. Die Probanden haben außerdem einen Fragebogen zu ihrer Person (Alter, Geschlecht, Fahrerfahrung und der Epworth-Sleepness-Scale (Johns, 1991)) vorausgefüllt zum ersten Versuchstermin mitgebracht (siehe Anhang 7: Vorfragebogen A). Für die Versuchsdurchführung standen zwei Versuchsslots zur Auswahl. Der erste Slot war terminiert von 08:30-11:30 Uhr und der zweite Slot von 12:00-15:00 Uhr. Die Probanden haben alle drei Versuche im Abstand von mindestens 2 Tagen im jeweils gleichen Slot absolviert, um Effekte der Tagesrhythmik auf den Versuch weitestgehend auszuschließen. Die Versuche haben sich mit insgesamt über 300 Versuchsstunden an 55 Versuchstagen über den Zeitraum von November 2017-Januar 2018 erstreckt.

Vor jedem Fahrtantritt wurden die Probanden in einen Vorbereitungsraum geführt. Dort füllten sie die Karolinska-Sleepiness-Scale (Åkerstedt & Gillberg, 1990) aus, um den Müdigkeitszustand vor Fahrtantritt zu erfassen (siehe Anhang 8: Vorfragebogen B). Außerdem wurden ihnen Elektroden für die Elektrokardiographie-Messung und für die Elektrodermale-Aktivitäts-Messung angelegt. Um die Versuchsdurchführung im Weiteren nicht zu stören, wurden die Probanden gebeten, ihr Mobiltelefon zu deaktivieren und abzulegen.

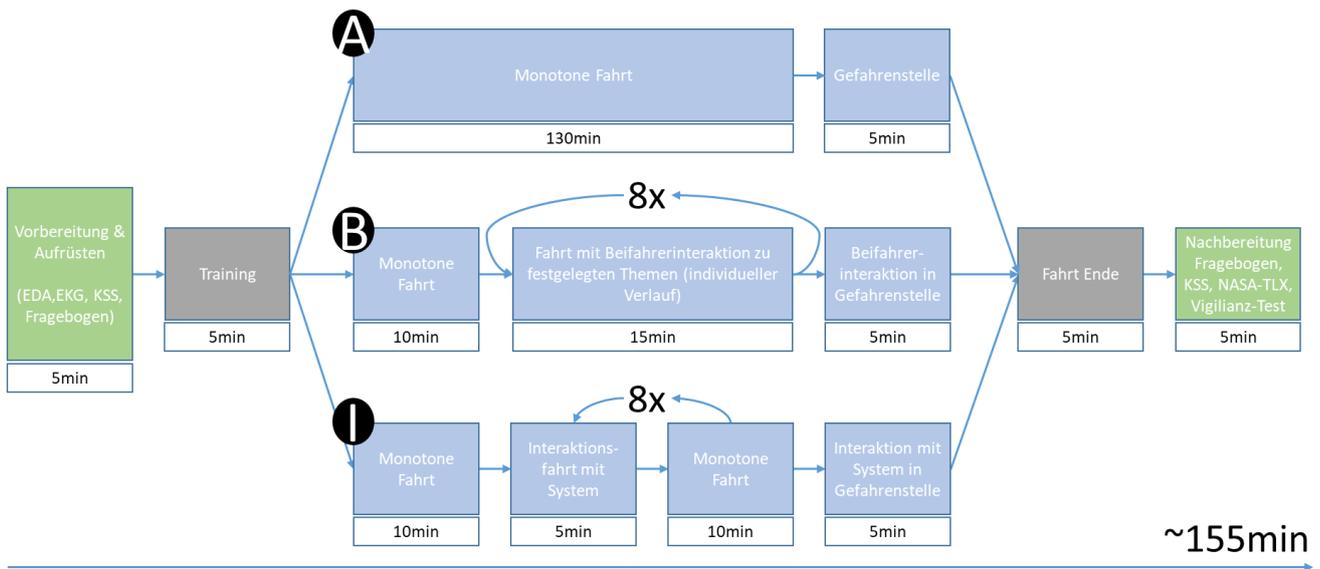


Abbildung 27: Ablaufplan der Fahrversuche (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Anschließend wurden die Probanden in den Fahrsimulator geführt, dessen Funktionen ihnen dort erklärt wurden. Den Probanden wurde nun eine Eyetracking-Brille (SMI ETG 2) angelegt und diese wurde über eine 3-Punktkalibrierung eingerichtet.

Die Probanden erhielten vor Fahrtantritt nur die Information, dass in drei Fahrversuchen die Daueraufmerksamkeit getestet werden soll und dass für diesen Zweck verschiedene Versuchssettings gewählt wurde. Ebenso wurden sie angewiesen, die geltenden Verkehrsregeln zu beachten und eventuelle Fahrexperimente auf die Einföhrungsfahrt zu beschränken.

Zum Fahrtantritt fuhren die Probanden zunächst einen fünfminütigen Testabschnitt (siehe Abbildung 27). Der Testabschnitt war als Landstraße mit vielen Kurven simuliert, um den Probanden an den Simulator zu gewöhnen. Probanden die von der Simulatorkrankheit betroffen sind, konnten in diesem Abschnitt feststellen, ob sie die Versuche eventuell abbrechen müssen.

Im Anschluss fuhren die Probanden von der Landstraße auf die Autobahn auf und die Versuchsaufzeichnung begann. Alle drei Fahrversuche hatten die identische Streckenföhrung über 235km Autobahn. Auf der Alleinfahrt war der Proband somit für ca. 135 min alleine und nur mit der Fahraufgabe beschäftigt. Auf der Fahrt mit dem entwickelten Interaktionssystem gab es insgesamt neun Sessions, zu denen das Interaktionssystem aktiviert wurde. Jede Session bestand aus einem Fahrspiel

und drei Quizfragen die aus dem Fragenkatalog von 11 Quizfragen durchmischt zusammengestellt wurden. Jeder Proband führte an den gleichen Wegpunkten die gleichen Fahraufgaben durch und beantwortete an den gleichen Wegpunkten die gleichen Fragen, um eine Vergleichbarkeit der Versuche zu gewährleisten. Eine Interaktionssession dauerte ungefähr fünf Minuten. Die Wegpunkte, die die Interaktion auslösten, lagen in einem Abstand von ungefähr 15 Fahrminuten, sodass eine Pause zwischen den Interaktionen von ungefähr zehn Minuten entstand. Der Abstand von 10min wurde gewählt, um sicherzustellen, dass dem Fahrer in nicht zu großen Zeitabständen (vgl. ISO 10075-2:1996) neue Reize geboten werden.

Auf der Fahrt B fuhr der Proband zusammen mit einem Beifahrer. Der Beifahrer war dem Probanden unbekannt. Insgesamt zwei verschiedene Beifahrer teilten sich die 31 Fahrten mit den Probanden, wobei sie die identischen Themen zu gleichen Zeitpunkten ansprachen. Das Thema wechselte immer genau dann, wenn auch auf der Interaktionsfahrt ein Fahrspiel eingeleitet wurde. Die Themenwechsel waren somit Wegpunktabhängig. Die Beifahrer bekamen ein Signal über einen Kopfhörer, dass sie auf den Themenwechsel hinwies. In den insgesamt neun Sessions wurden in den ersten drei Sessions Themen aus dem Bereichen Job, Hobby und Urlaub mit den Probanden besprochen. In den nächsten drei Sessions wurden Themen zur Allgemeinbildung aus den Bereichen Geografie, berühmte Persönlichkeiten und Musik angesprochen. In den letzten drei Sessions wurden spiele wie *Wer bin ich?* gespielt. Die Themen waren als Skript in einer Checkliste auf der Smartphone-App *Wunderlist* angelegt, sodass die Beifahrer die Themen chronologisch und bei allen Fahrten in gleicher Weise aufbringen konnten (siehe Anhang 10: Wunderlist-Skript für Beifahrerfahrt).

Bei Streckenkilometer 232 war auf allen Fahrten ein Wildwechsel simuliert, bei dem ein Wildschwein die aktuelle Fahrspur des Probanden im Abstand von 120m voraus zum Fahrzeug betrat. Der Wildwechsel erforderte ein scharfes Bremsmanöver oder ein Ausweichmanöver und war als Aufmerksamkeitstest eingebunden. Der vorangegangene Streckenabschnitt war auf mehreren Kilometer ohne Anhaltspunkte umrandet von dichter Bewaldung simuliert, sodass die Probanden sich die Stelle nicht merken konnten.

Nach dem Aufmerksamkeitstest ist der Proband weitere 8km Waldstrecke gefahren, um die genaue Zuordnung des Wildwechsels weiter zu erschweren und somit die Vergleichbarkeit zwischen den Versuchen zu gewährleisten.

Nach dem jeweiligen Fahrversuch wurde das Blickbewegungssystem unmittelbar entfernt und von den Probanden ein NASA-TLX Fragebogen, ein KSS-Fragebogen und der Vigilanztest-Schildererkenung ausgefüllt. Im Anschluss wurden die EKG und EDA Elektroden entfernt. Nach der Fahrt mit dem entwickelten Interaktionssystem füllten die Probanden noch den zusätzlichen meCUE-Fragebogen zum Nutzungserleben aus, dem auch offene Fragen (siehe Anhang 11: Offene Fragen zum Interaktionssystem) angefügt waren. Nach dem ersten Versuchstermin erhielten die Probanden noch

einen Fragebogen zur persönlichen Leistungsmotivation nach Mikula, Uray und Schwinger (1976), den sie zum zweiten Versuchstermin ausgefüllt mitbringen sollten (Anhang 12: Vorfragebogen C).

5.6. Zeitsynchronisierung und Auswertung der Daten

In diesem Abschnitt wird zunächst erläutert, wie verschiedene Datenreihen der Fahrversuche synchronisiert wurden. Im Anschluss wird dargestellt, wie die Versuchsdaten in Intervalle eingeteilt und ausgewertet wurden.

5.6.1. Zeitsynchronisierung

Die Aufzeichnung der Blickdaten der Probanden erfolgte im Unterschied zu den übrigen Daten, die direkt über die Simulationssoftware SILAB aufgezeichnet wurden, separat über die zum Blickbewegungssystem gehörige Software iView. Die Daten wurden unabhängig voneinander mit 60Hz aufgezeichnet, jedoch mit unterschiedlichen Startzeiten. Um eine Synchronisation der beiden Zeitparameter zu ermöglichen, wurde bei allen Starts der iView-Aufzeichnung ein Zeitstempel von SILAB aufgezeichnet, indem der Proband mit der Blickbewegungsbrille einen Zeitstempel im rechten unteren Rand der rechten Projektionsfläche erfasste. Dieser wird aus den Blickbewegungsvideos ausgelesen. In Abbildung 28 ist die SILAB-Systemzeit in Millisekunden unten rechts auf der Leinwand zu erkennen. Die Zeitleiste der Blickbewegungsdaten wurde für den Zeitpunkt der Ersterfassung des Zeitstempels auf Null gesetzt und anschließend um den Zeitwert der SILAB Aufzeichnung angepasst.



Abbildung 28: SILAB Zeitstempel Proband 11 Beifahrerfahrt

5.6.2. Auswertung

Zur Datenanalyse wurden zunächst Intervalle bestimmt, in denen die Fahrversuche ausgewertet wurden. Wie in Abbildung 29 zu sehen ist, fanden insgesamt neun Interaktionen während der Interaktionsfahrt statt. In den übrigen Abschnitten fand keine Interaktion statt und der Fahrer war auf sich alleine gestellt. Für die Dauer der Interaktionssessions wurde jeweils ein Zeitraum von fünf Minuten bzw. zehn Kilometern veranschlagt und ausgewertet. Zusätzlich wurden ebenfalls fünf Minuten bzw. zehn Kilometer zwischen den Interaktionen ausgewertet, um den Verlauf der Kenngrößen über die Zeit

deskriptiv zu analysieren. Damit ergaben sich insgesamt 17 Intervalle, deren Startpunkte durch jeweils feste Streckenpunkte definiert waren. Für alle drei Fahrscenarien wurden diese über die Interaktionsfahrt festgelegt, identischen wegstreckenabhängigen Intervalle (Anhang 13: Auswertungsintervalle) ausgewertet.

Für die statistischen Vergleiche zwischen den Fahrscenarien wurden je Kenngröße jeweils die Gesamtmittelwerte über die komplette Fahrtzeit gebildet, sowie die Mittelwerte für das zweite Interaktionsintervall (Intervall 3), sowie 3 weitere Intervalle in jeweils halbstündigem Abstand (Intervall 7, Intervall 11 und Intervall 15). Es wurde mit Intervall 3 gestartet, da im ersten Interaktionsintervall von einer Gewöhnung ausgegangen wurde, die die statistischen Vergleiche verfälschen könnte.

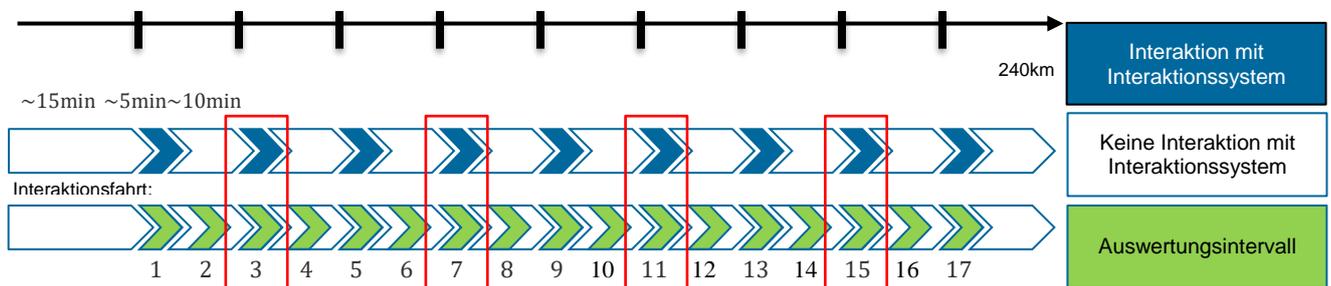


Abbildung 29: Auswertungsintervalle (grün) und Vergleichsintervalle für statistische Analysen (rot)

Für die Auswertung der Quer- und Längsführungsdaten wie SDLP, Vorfälle und der Geschwindigkeitsdaten mussten die Intervalle weiter eingegrenzt werden, da die SDLP zum Beispiel durch Kurven und Überholvorgänge und die gefahrene Geschwindigkeit durch von 100km/h abweichende Geschwindigkeitsbegrenzungen und zeitweise durch Fahrspiele beeinflusst wurde.

Intervalleinschränkungen für Querführungsdaten:

Die folgenden drei Ausschlusskriterien zur Bereinigung der Fahrdaten zur Querführung müssen beachtet werden:

- 1.) Kurven
- 2.) Überholvorgänge
- 3.) Wildwechsel

Liegt für einen Streckenabschnitt eines dieser Kriterien vor, so muss der entsprechende Abschnitt von den Intervalldaten ausgeschlossen werden.

Anhand der Streckendaten (siehe Anhang 3: Streckenführung) wurde in einem ersten Schritt das Wechselspiel zwischen Geraden und Kurve auf der gesamten Fahrstrecke visualisiert (Anhang 14: Auswertungsintervalle der Querführung). Dabei stellen die gelben Rechtecke kurvige Bereiche dar, während die grünen Rechtecke stellvertretend zur Veranschaulichung der Geraden gewählt wurden (siehe Abbildung 30).

Um Überholvorgänge in diese Auswertung einfließen zu lassen, wurden alle simulierten Fahrzeuge einzeln betrachtet.

Der Zeitpunkt eines Aufeinandertreffens zweier Fahrzeuge (Meeting-Point) ist in der Simulation nicht zeitlich festgelegt, sondern wird wegstreckenabhängig ausgelöst. Da der Meeting-Point zweier Fahrzeuge nur den genauen Moment beschreibt, in dem die Fahrzeuge sich auf derselben Höhe befinden, gibt dies noch keine Auskunft darüber, wann der Überholende den Fahrstreifen wechselt.

Im ungünstigen Fall, dass ein Proband mit nur 85 km/h in der 100 km/h Zone einen LKW mit der maximal zulässigen Länge von 18,75m und einer Geschwindigkeit von 80 km/h überholt, beträgt die durch den PKW zurückgelegte Strecke gerundet 2km (siehe Anhang 15: Gleichungssystem Überholvorgang)

Auf Grundlage dieser Berechnung werden in dieser Arbeit zwei Kilometer als diejenige Länge ausgegeben, die für einen Überholvorgang benötigt wird. Somit wird vor und nach jedem Meeting-Point jeweils ein Kilometer von der Auswertung der Daten ausgeschlossen. Alle Überholvorgänge werden anhand ihres Meeting-Points (MP) mit einem roten Balken vermerkt (siehe Abbildung 30).

Das letzte Kriterium, welches aus den Daten ausgeschlossen werden muss, ist der Wildwechsel. Dieser erfordert vom Fahrer eine schnelle Reaktion und zwingt ihn zum Abbremsen. Ferner sollte der Proband das Wildschwein umfahren, um es nicht anzufahren. Dieser Schritt ähnelt dem Überholen, da der Probanden den Fahrstreifen wechseln muss, um dieses Ausweichmanöver zu vollziehen. Dieser Fall trat jedoch nur in Intervall 17 auf.

Beispielhaft wird die genannte Vorgehensweise am Intervall 2 nachfolgend kurz erläutert:

Das zweite Intervall hat eine Ausgangslänge von 10 Kilometern und verläuft wie in Abbildung 30 ersichtlich von Kilometer 36,80 bis Kilometer 46,80.

Wird das zweite Intervall hinsichtlich der Ausschlusskriterien betrachtet, weist es folgende Struktur auf:

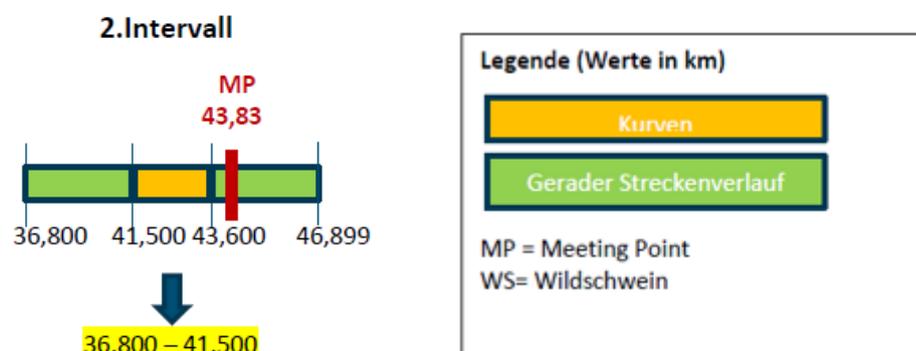


Abbildung 30: Querführungsrelevante Streckencharakteristik des Auswertintervalls 2

Der Aufbau des zweiten Intervalls zeigt, dass zwei gerade Streckenbereiche in diesem Intervall liegen und sich eine Kurve von 41,5 bis 43,6 Kilometern erstreckt. Ebenfalls liegt ein Meeting-Point im zweiten

Geradenabschnitt bei Kilometer 43,83. Daraus folgt, dass mit Abzug von 1 Kilometer vor und nach dem Meeting-Point, der Überholvorgang von Kilometer 42,83 (liegt im Bereich der Kurve) bis 44,83 Kilometern verlaufen würde. Da die Daten um dieses Fahrmanöver bereinigt werden, ergeben sich zwei „grüne“ Intervalle (gerade Streckenabschnitte), die zur Auswertung der Fahrdaten in dieser Arbeit betrachtet werden können. Das erste gerade Intervall hat eine Länge von 4,7 Kilometern, während das zweite eine Länge von circa 2 Kilometern aufweist. In diesem Kontext wurde entschieden, dass wenn innerhalb eines der 17 Intervalle zwei oder mehr Bereiche zur Analyse in Frage kommen, immer der größte zur Auswertung herangezogen wird. Deswegen wird in der Analyse der Daten nur der erste Bereich von 36,80 Kilometer bis 41,50 Kilometer (4,7 km) betrachtet. Dies ist durch den blauen Pfeil und den gelb hinterlegten Bereich verdeutlicht.

Intervalleinschränkungen für Längsführungsdaten:

Wie bereits einleitend beschrieben, machen die unterschiedlichen Geschwindigkeitszonen innerhalb einer Versuchsfahrt auch für die Längsführungsdaten eine Einschränkung der einzelnen Intervalle erforderlich. Für die spätere Auswertung und Vergleichbarkeit der Daten ist es zwingend notwendig, dass keine 120km/h Zone in die Geschwindigkeitsauswertung einfließt, da die Abweichung zur vorgegebenen Sollgeschwindigkeit von 100km/h betrachtet werden soll.

Dahingehend wurden in der Folge die Übergänge innerhalb eines Intervalls von einer 100 km/h-Zone in eine 120 km/h-Zone (siehe Abbildung 31) und umgekehrt näher analysiert. Dabei ist es naheliegend, dass der Geschwindigkeitsübergang an diesen Grenzen nicht abrupt vonstattengeht, sondern vielmehr eine fließende Geschwindigkeitsanpassung erfolgt.

In Abbildung 31 ist zu erkennen, dass innerhalb der Intervalle 1, 2, 7, 10, 11 und 13 zwangsläufig Geschwindigkeitsübergänge stattfinden. Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 32 schematisch dargestellt. In Anbetracht eines Geschwindigkeitsübergangs einer 120 km/h- in eine 100 km/h-Zone ist an betroffenen Stellen mit einer Geschwindigkeitsreduktion (Verzögerung) zu rechnen. Im Gegenzug verursacht eine Richtgeschwindigkeitsänderung von 100 km/h- auf 120 km/h eine Erhöhung der Geschwindigkeit (Beschleunigung). Durch eine Vorabanalyse der Geschwindigkeitsübergänge (siehe Anhang 15: Gleichungssystem Überholvorgang) konnte festgestellt werden, dass die Probanden 500m nach dem Passieren eines Verkehrszeichens die Geschwindigkeit mit hinreichender Wahrscheinlichkeit angepasst haben. Aus diesem Grund wurden die Bereiche bis zu 500m nach einer Änderung der Richtgeschwindigkeit aus der Analyse ausgeschlossen. Darüber hinaus erlaubt die grafische Auflösung der Projektionen eine Verkehrszeichenerkennung erst im Abstand von 300m voraus zum Fahrzeug, weswegen auch diese Bereiche aus der Analyse ausgeschlossen wurden, da ab diesem Zeitpunkt mit einer Reaktion der Probanden auf das Verkehrszeichen zu rechnen ist (siehe Abbildung 32). Letztlich wurde Intervall 8 vollständig von der Analyse der Geschwindigkeitsdaten ausgeschlossen, da in diesem

Intervall nur wenige Meter Strecke nach Anwendung der Ausschlusskriterien verblieben sind (siehe Anhang 17: Auswertungsintervalle der Längsführung).

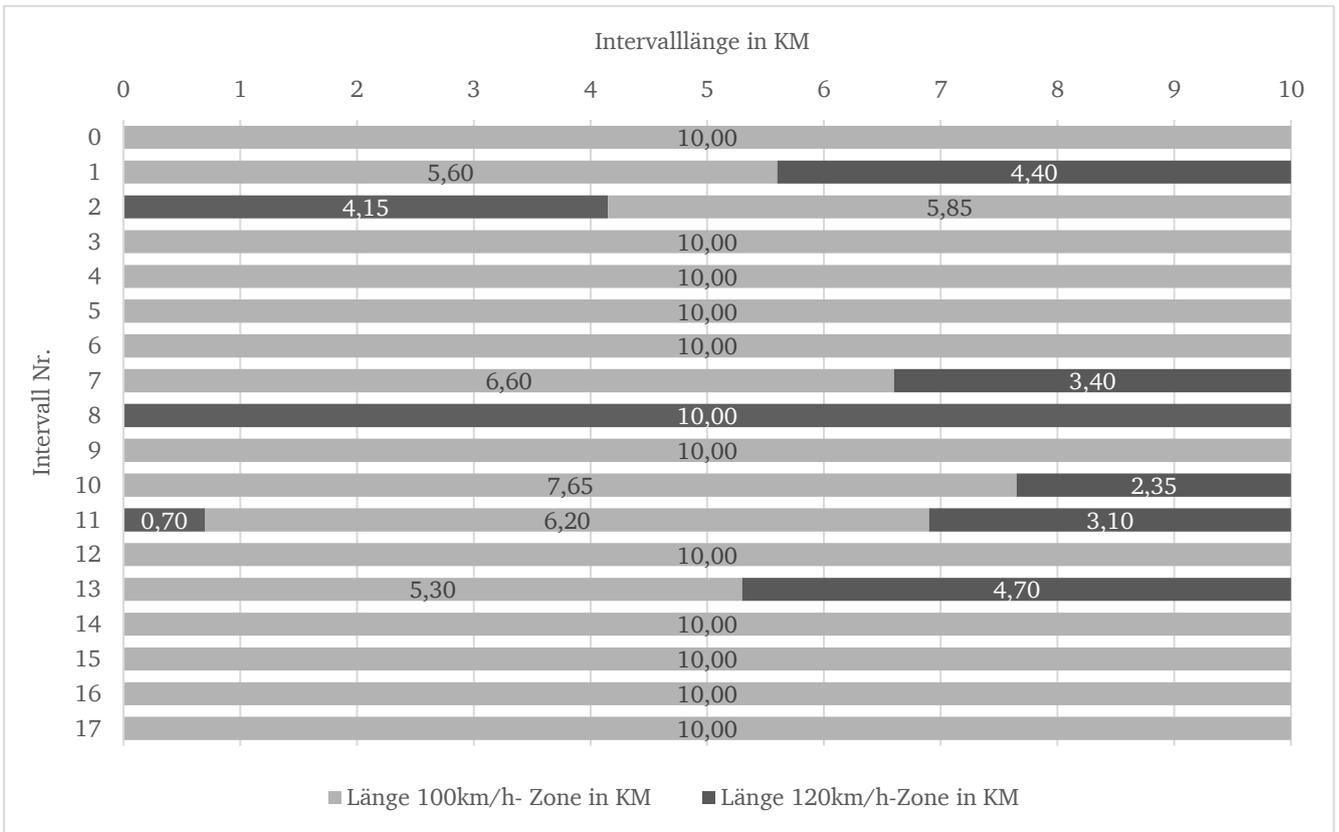


Abbildung 31: Intervallaufteilung in 100 km/h- und 120 km/h-Zonen

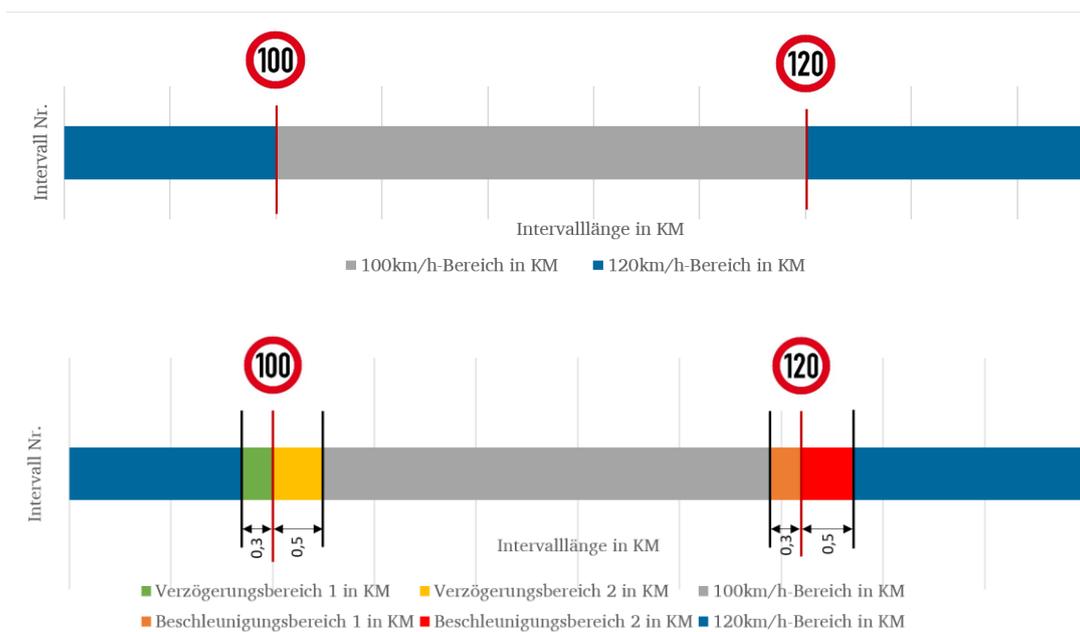


Abbildung 32: Schematische Geschwindigkeitsübergänge innerhalb eines Intervalls

5.7. Detaillierung der Untersuchungshypothesen

Im folgenden Abschnitt sollen die in Abschnitt 5.1 vorgestellten Leithypothesen auf Basis der eingesetzten Müdigkeits-Mess- und –Bewertungsmethoden weiter detailliert werden. Die Detaillierung erfolgt, um statistisch prüfbare Hypothesen vorliegen zu haben und um die Kenngrößen entsprechen der in Abschnitt 5.3 vorgestellten Studien mit den Leithypothesen zu verknüpfen. Dabei werden in der Hypothesenformulierung die Fahrscenarien indexiert (I = Interaktionsfahrt, A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt). Bei kontinuierlich aufgezeichneten Kennwerten wird zusätzlich zur Gesamtentwicklung der Kennwerte auch die Entwicklung der Kennwerte für die Intervalle 3, 7, 11 und 15 über Hypothesen beschrieben. Aufgrund der Untersuchungen von Karrer-Gauß (2011), Greschner (2011) und Gershon et al. (2009) wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass sich die unterschiedlichen Kenngrößen der Müdigkeits- und Leistungserhebung ab der 120. Minute (entsprechend in Intervall 15) angleichen und somit ungeachtet der Interaktionsform die Unterschiede zwischen den Szenarien schwinden.

5.7.1. Detaillierung der Leithypothesen LH1.1 & LH1.2

Zunächst werden an dieser Stelle die Leithypothesen LH1.1 und LH1.2 detailliert (siehe Tabelle 14 und Tabelle 15).

Leithypothese 1.1 lautet:

LH1.1: Das Interaktionssystem erhöht die mentale Beanspruchung der Probanden im Vergleich zur Alleinfahrt ohne zu einer Überbeanspruchung zu führen.

Entsprechend der konzipierten Funktion wird erwartet, dass die mentale Beanspruchung des Fahrers durch das Interaktionssystem im Unterschied zur Alleinfahrt gesteigert wird. Ferner soll durch das System keine Überbeanspruchung der Probanden verursacht werden und somit der NASA-Gesamtwert von 60 (Grier, 2015) nicht überschritten werden. Bezüglich der Betrachtung der einzelnen Dimensionen des NASA-TLX wie sie von Galy et al. (2017) empfohlen wird, sind die Dimensionen der geistigen Anforderung, der Anstrengung und der Frustration relevant. Weniger relevant sind die zeitliche Anforderung, die körperliche Anforderung und die Leistung, da die beiden erstgenannten in allen drei Versuchsfahrten für alle Probanden identisch waren. Die Leistung kann wiederum von den Probanden nicht eingeschätzt werden, da sie die Erfüllung der Fahraufgabe und die Erfüllung der Fahraufgabe zzgl. einer Nebenaufgabe kombiniert betrachten und vergleichen müssten.

Die detaillierten Hypothesen für die Beanspruchung zu LH1.1 finden sich in Tabelle 14. Exemplarisch wird eine Hypothese ausformuliert, um die verwendete mathematische Beschreibung anschaulich zu gestalten.

Der Gesamtwert der Beurteilung der Beanspruchung mittels NASA TLX liegt auf der Interaktionsfahrt und auf der Alleinfahrt gleich hoch (NASA TLX: Ges.I = Ges.A).

Diese Hypothese ist darauf zurückzuführen, dass davon ausgegangen wird, dass die höhere Bewertung der Dimension der geistigen Anforderungen auf der Interaktionsfahrt im Gesamtwert, durch eine niedrigere Bewertung der Dimensionen der Anstrengung und der Frustration, ausgeglichen wird, da der Gesamtwert über den Mittelwert der Dimensionsbewertung berechnet wird.

Tabelle 14: Detaillierung der Leithypothese LH1.1

Kenngröße	Hypothese
NASA TLX Gesamt	Ges.I = Ges.A
NASA TLX Gesamt	Ges.I < 60
NASA geistige Anforderung	gA.I > gA.A
NASA Anstrengung	Anst.I < Anst.A
NASA Frustration	Frust.I < Frust.A

Leithypothese LH1.2 lautet:

LH1.2: Das Interaktionssystem erhöht die mentale Beanspruchung in gleicher Weise wie die Kommunikation mit einem Beifahrer.

Da die Beifahrerfahrt als vergleichendes Vorbild dient und erwartet wird, dass die verbale Kommunikation mit dem Interaktionssystem die Probanden in gleicher Weise beansprucht wie die verbale Kommunikation mit einem Beifahrer, werden keine signifikanten Unterschiede zwischen der NASA Beanspruchungsbewertung erwartet (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Detaillierung der Leithypothese LH1.2

Kenngröße	Hypothese
NASA TLX Gesamt	Ges.I = Ges.B
NASA geistige Anforderung	gA.I = gA.B
NASA Anstrengung	Anst.I = Anst.B
NASA Frustration	Frust.I = Frust.B

5.7.2. Detaillierung der Leithypothesen LH2.1 & LH2.2

Die Leithypothesen LH2.1 und LH2.2 beziehen sich auf die Kenngrößen der psycho-physiologischen Müdigkeit. Die Detaillierung der Leithypothesen (siehe Tabelle 16) leitet sich aus den Erkenntnissen aus Abschnitt 5.3.2 ab, dazu lautet LH 1.1:

LH2.1: Probanden weisen bei Nutzung des Interaktionssystems im Vergleich zur Alleinfahrt weniger Anzeichen psycho-physiologischer Müdigkeit auf, dies zeigt sich vor allem im Versuchszeitraum von unter 2 Stunden, bevor sich die Kennwerte angleichen.

Entsprechend der vorgestellten Karolinska-Sleepiness-Scale, bei der ein großer Anstieg der Werte von der Versuchsvorerhebung zur Versuchsnacherhebung für einen starken Anstieg der Müdigkeit steht, wird erwartet, dass dieser Anstieg durch das Interaktionssystem geringgehalten wird. Zu beachten ist, dass

das Intervall 15 im Zeitraum von über 2 Stunden Versuchszeit liegt und dass somit aus zuvor genannten Gründen eine Angleichung der Kennwerte erwartet wird.

Umgekehrt steht ein höherer Hautleitwert für eine höhere Aktiviertheit der Probanden, weswegen für die Interaktionsfahrt ein höherer Wert erwartet wird. Hinsichtlich der Herzschlagrate wird aufgrund einer stärkeren Müdigkeit auf der Alleinfahrt ein niedrigerer Wert erwartet. Unterschiede werden hingegen in der Herzschlagratenvariabilität erwartet. Bei der SDNN steht ein hoher Anstieg für eine starke Zunahme der Müdigkeit, ebenso verhält es sich bei einem Anstieg der Lidschlagfrequenz.

Tabelle 16: Detaillierung der Leithypothese LH2.1

Kenngröße	Hypothese Gesamt	Hypothese Intervall 3	Hypothese Intervall 7	Hypothese Intervall 11	Hypothese Intervall 15
Diff. KSS	Ges.I < Ges.A				
Hautleitwert (SCL)	Ges.I > Ges.A	3.I > 3.A	7.I > 7.A	11.I > 11.A	15.I = 15.A
Herzschlagrate	Ges.I > Ges.A				
HRVariabilität (SDNN)	Ges.I < Ges.A	3.I < 3.A	7.I < 7.A	11.I < 11.A	15.I = 15.A
Anstieg Lidschlagfrequenz	Ges.I < Ges.A	3.I < 3.A	7.I < 7.A	11.I < 11.A	15.I = 15.A

Für den Vergleich der psycho-physiologischen Müdigkeit zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt lautet Hypothese LH2.2:

LH2.2: Probanden weisen bei Nutzung des Interaktionssystems und bei der Beifahrerfahrt gleiche Anzeichen psycho-physiologischer Müdigkeit auf.

Entsprechend der Leithypothese werden für die einzelnen Kenngrößen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Szenarien Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt erwartet (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Detaillierung der Leithypothese LH2.2

Kenngröße	Hypothese Gesamt	Hypothese Intervall 3	Hypothese Intervall 7	Hypothese Intervall 11	Hypothese Intervall 15
Diff. KSS	Ges.I = Ges.B				
Hautleitwert (SCL)	Ges.I = Ges.B	3.I = 3.B	7.I = 7.B	11.I = 11.B	15.I = 15.B
Herzschlagrate	Ges.I = Ges.B				
HRVariabilität (SDNN)	Ges.I = Ges.B	3.I = 3.B	7.I = 7.B	11.I = 11.B	15.I = 15.B
Anstieg Lidschlagfrequenz	Ges.I = Ges.B	3.I = 3.B	7.I = 7.B	11.I = 11.B	15.I = 15.B

5.7.3. Detaillierung der Leithypothesen LH3.1 & LH3.2

Die Leithypothesen LH3.1 und LH3.2 beziehen sich auf die Vigilanz der Probanden im Fahrversuch. Diese wurde über zwei Verfahren erhoben und sind dementsprechend in Tabelle 18 für den Vergleich Interaktionsfahrt zu Alleinfahrt und in Tabelle 19 für den Vergleich Interaktionsfahrt zu Beifahrerfahrt detailliert. Leithypothese LH3.1 lautet:

LH3.1: Probanden weisen bei Nutzung des Interaktionssystems aufgrund geringerer Müdigkeit eine höhere Vigilanz gegenüber der Alleinfahrt auf, dies zeigt sich vor allem im Versuchszeitraum von unter 2 Stunden, bevor sich die Kennwerte angleichen.

Da eine höhere Rate der Schilderererkennung für eine höhere Vigilanz spricht, wird erwartet, dass diese auf der Interaktionsfahrt vorzufinden ist.

Da der Wildwechsel, um die Monotonie im Fahrversuch nicht zu beeinflussen, erst auf den letzten Streckenkilometern simuliert ist und zu diesem Zeitpunkt, wie einleitend erwähnt, von einem Angleichen der Müdigkeit ausgegangen wird, sind hinsichtlich der Reaktionszeit und Unfallzahlen keine signifikanten Unterschiede zu erwarten. Vielmehr dient der Wildwechsel an dieser Stelle dazu ein mögliches Auftreten selektiver Aufmerksamkeit auf das Interaktionssystem (Lavie, Hirst, Fockert & Viding, 2004) bei den Probanden auszuschließen. Dementsprechend würde der Proband im Negativfall die Interaktion so sehr verfolgen, dass er die Fahraufgabe vernachlässigt. Um dies zu untersuchen, wurde der Wildwechsel entsprechend während einer laufenden Interaktion simuliert. Da die Fahraufgabe selbst den Mittelpunkt der Interaktion darstellt, wird erwartet, dass die Vigilanz bei der Interaktionsfahrt nicht geringer ist, als bei den anderen Fahrten.

Tabelle 18: Detaillierung der Leithypothese LH3.1

Kenngröße	Hypothese
Schildererkennungsrate	Ges.I > Ges.A
Reaktionszeit Wildwechsel	Ges.I = Ges.A
Unfallzahl Wildwechsel	Ges.I = Ges.A

Hinsichtlich des Vigilanz-Vergleichs zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt lautet die Leithypothese:

LH3.2: Probanden weisen bei Nutzung des Interaktionssystems aufgrund geringerer Ablenkung eine höhere Vigilanz gegenüber der Beifahrerfahrt auf.

Da die Gespräche mit dem Beifahrer keinen Bezug zur Fahraufgabe haben, wird davon ausgegangen, dass die Schildererkennungsrate auf der Interaktionsfahrt signifikant höher und somit besser ist, als auf der Beifahrerfahrt. Bezüglich des Wildwechsels zum Ende der Versuchsfahrt werden hingegen keine unterschiedlichen Reaktionen zwischen den Szenarien erwartet (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Detaillierung der Leithypothese LH3.2

Kenngröße	Hypothese
Schildererkennungsrate	Ges.I > Ges.B
Reaktionszeit Wildwechsel	Ges.I = Ges.B
Unfallzahl Wildwechsel	Ges.I = Ges.B

5.7.4. Detaillierung der Leithypothesen LH4.1 & LH4.2

Bestandteil der Leithypothesen LH4.1 und LH4.2 sind die Fahrleistungsparameter, diese werden in Tabelle 20 aufgelistet. Da also von einer ähnlichen Auswirkung der technischen und der interpersonellen Kommunikation ausgegangen wird, werden auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kenngrößen der Fahrleistung der einzelnen Szenarien erwartet (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21 Die Leithypothese LH4.1 lautet:

LH4.1: Die Fahrleistung ist bei Nutzung des Interaktionssystems besser als bei der Alleinfahrt, dies zeigt sich vor allem im Versuchszeitraum von unter 2 Stunden, bevor sich die Kennwerte angleichen.

Aufgrund der in Abschnitt 5.3.4 geschilderten Auswirkungen von Interaktionen auf die Fahrleistungskenngrößen in sonst ermüdenden Szenarien, wird davon ausgegangen, dass sich die einzelnen Fahrleistungskenngrößen positiv durch das Interaktionssystem beeinflussen lassen. Dies äußert sich über eine geringere Abweichung der lateralen Position, eine geringere gefahrene Geschwindigkeit und eine geringere Anzahl an Unfällen und Vorfällen auf der Interaktionsfahrt im Vergleich zur Alleinfahrt.

Tabelle 20: Detaillierung der Leithypothese LH4.1

Kenngröße	Hypothese Gesamt	Hypothese Intervall 3	Hypothese Intervall 7	Hypothese Intervall 11	Hypothese Intervall 15
Mittl. Geschwindigkeit - MS	Ges.I < Ges.A	3.I < 3.A	7.I < 7.A	11.I < 11.A	15.I = 15.A
SD Lateral Position - SDLP	Ges.I < Ges.A	3.I < 3.A	7.I < 7.A	11.I < 11.A	15.I = 15.A
Anzahl Vorfälle	Ges.I < Ges.A				
Anzahl Unfälle	Ges.I < Ges.A				

Hinsichtlich des Vergleichs zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt lautet die Hypothese:

LH4.2: Die Fahrleistung ist bei Nutzung des Interaktionssystems genauso hoch wie bei der Beifahrerfahrt.

Da also von einer ähnlichen Auswirkung der technischen und der interpersonellen Kommunikation ausgegangen wird, werden auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kenngrößen der Fahrleistung der einzelnen Szenarien erwartet (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21: Detaillierung der Leithypothese LH4.2

Kenngröße	Hypothese Gesamt	Hypothese Intervall 3	Hypothese Intervall 7	Hypothese Intervall 11	Hypothese Intervall 15
Mittl. Geschwindigkeit - MS	Ges.I = Ges.B	3.I = 3.B	7.I = 7.B	11.I = 11.B	15.I = 15.B
SD Lateral Position - SDLP	Ges.I = Ges.B	3.I = 3.B	7.I = 7.B	11.I = 11.B	15.I = 15.B
Anzahl Vorfälle	Ges.I = Ges.B				
Anzahl Unfälle	Ges.I = Ges.B				

5.7.5. Detaillierung der ergänzenden Leithypothesen LHe.1 & LHe.2

Zuletzt sollen auch die Leithypothesen zur ergänzenden Forschungsfrage detailliert werden. Die erste Leithypothese zu dieser lautet:

LHe.1: Die Probanden bewerten das Nutzungserleben mit dem eingesetzten Interaktionssystem auf Basis von Gamification als positiv.

Grundlage für die Prüfung dieser Leithypothese bilden die Ergebnisse des meCUE Fragebogens. Die Dimensionen des meCUE geben Aufschluss darüber, welche Komponenten des Nutzungserlebens das Interaktionssystem bereits erfüllt, beziehungsweise in welchen Bereichen noch Anpassungen des Systems notwendig sind. Ein zufriedenstellendes Ergebnis ist dann erzielt, wenn die Dimensionsbewertung des Interaktionssystems mindestens so gut ist, wie der jeweilige Referenzwert (siehe Tabelle 22). Die Herleitung der Referenzwerte fand in Abschnitt 5.3.5 statt. Eine Ausnahme bilden die Dimensionen negative Emotionen, Bindung und Produktloyalität. Die negativen Emotionen liegen wünschenswerter Weise unter dem Referenzwert. Für die Dimensionen Bindung und Produktloyalität ist unter Berücksichtigung der Dimensionsbeschreibung (siehe Abschnitt 5.3.5) davon auszugehen, dass die Bewertung des Interaktionssystems schwächer ausfällt, da das Interaktionssystem von den Probanden nicht wiederholt über mehrere Wochen getestet wird (relevant für Bindung) und die Probanden aufgrund der Neuheit des Interaktionssystems auch keine Vergleichsprodukte kennen (relevant für Produktloyalität).

Tabelle 22: Detaillierung der Leithypothese LHe.1

meCUE Dimension	Hypothese Gesamt	Tendenz
Nützlichkeit	Bew.Nütz. $\geq 5,2$	↗
Benutzbarkeit	Bew.Benutz. $\geq 5,6$	↗
visuelle Ästhetik	Bew.Ästh. $\geq 4,3$	↗
Status	Bew.Stat. $\geq 2,8$	↗
Bindung	Bew.Bin. $< 2,5$	↘
positive Emotionen	Bew.posE. $\geq 3,7$	↗
negative Emotionen	Bew.negE. $\leq 3,3$	↘
Nutzungsintention	Bew.NutzI. $\geq 4,2$	↗
Produktloyalität	Bew.Prod. $< 3,7$	↘
Gesamturteil	Bew.Ges. $\geq 2,4$	↗

Die zweite Leithypothese zur ergänzenden Forschungsfrage lautet:

LHe.2: Die Nutzung des Interaktionssystems wird von den Probanden ernst genommen, dies zeigt sich in einer über den Fahrversuch mindestens konstanten Leistung bei den Gamification-Aufgaben.

Die Leithypothese LHe.2 gilt im Folgenden dann als erfüllt, wenn die Punktzahlen in den späteren Sessions mindestens genauso hoch sind, wie in einer Referenzsession zu Beginn der Fahrversuche.

Äquivalent zu den vorherigen Hypothesen bildet die Session in Intervall 3 die Referenz, da die erste Nutzung des Interaktionssystems in Intervall 1 aufgrund von Gewöhnungseffekten ausgeschlossen wird. Zum Vergleich werden wie zuvor die Intervalle 7, 11 und 15 herangezogen (siehe Tabelle 23), da sie in etwa halbstündigem Abstand zueinander liegen.

Tabelle 23: Detaillierung der Leithypothese LHe.2

Kenngröße	Hypothese Gesamt		
Punktzahl Intervall 7	Pkt.Int7	≥	Pkt.Int3
Punktzahl Intervall 11	Pkt.Int11	≥	Pkt.Int3
Punktzahl Intervall 15	Pkt.Int15	≥	Pkt.Int3

Damit sind die Herleitung und Detaillierung der Hypothesen abgeschlossen. Im Folgenden soll nun auf die Statistischen Auswertungen dieser Dissertation eingegangen werden.

5.8. Statistische Datenanalyse

In diesem Teilkapitel wird erläutert, wie die Ergebnisse ausgewertet, miteinander verglichen und letztlich dargestellt werden.

5.8.1. Datenaufbereitung

Für jede Kenngröße, ob psycho-physiologisch oder fahrleistungsbezogen, wurden zunächst die arithmetischen Mittel (im Folgenden Mittelwerte genannt) für jeden Probanden für die jeweiligen siebzehn Intervalle als auch für die gesamte Versuchsdauer gemittelt und tabellarisch dargestellt. Diese Datensätze wurden anschließend jeweils von Ausreißern nach der Methode von Winsor (Dixon, W. J. & Yuen, 1974) bereinigt, bei der extreme Ausreißer (>3-fache Standardabweichung) durch den ersten Nichtextremwert ersetzt werden.

Die bereinigten Probandenmittelwerte wurden in einem weiteren Schritt sowohl für die einzelnen Intervalle als auch für die gesamte Versuchsdauer über alle Probanden gemittelt, so dass für jedes Fahrscenario und jedes Intervall je ein Gesamtmittelwert feststeht.

Die Gesamtmittelwerte der drei Fahrscenarien werden je Kenngröße in einem Diagramm mit den entsprechenden drei Boxplots dargestellt, da diese die Lagemaße sowie die Dispersionsmaße anschaulich vereinen (Döring & Bortz, 2016). Zusätzlich zum im Boxplot üblicherweise dargestellten Median werden auch die Mittelwerte der Verteilungen mit in die Grafiken aufgenommen.

Die deskriptive Darstellung der Entwicklung der unterschiedlichen Kenngröße über die Zeit/ Intervalle erfolgt über Liniendiagramme, die je Fahrscenario die Gesamtmittelwerte der Intervalle veranschaulichen.

5.8.2. Inferenzstatistische Tests

Zur weiteren statistischen Auswertung der vorliegenden Versuchsdaten und insbesondere zur Überprüfung der Hypothesen werden neben der deskriptiven Statistik auch verschiedene Testverfahren der Inferenzstatistik angewandt. Verglichen werden mit diesen Tests sowohl die Gesamtmittelwerte beziehungsweise Mediane zwischen den Szenarien, als auch die Mittelwerte (Mediane) der Intervalle 3, 7, 11 und 15 zwischen den Szenarien und jeweils separat (siehe Abschnitt 5.6.2).

Die Auswahl der zu verwendenden statistischen Test erfolgte nach dem Vorgehen von Blankenberger und Vorberg (1998) und ist in Abbildung 33 dargestellt. Sofern aufgrund von Messfehlern oder Systemausfällen von weniger als 30 Probanden Messwerte vorlagen, wurde die Normalverteilung mittels des Shapiro-Wilk-Test überprüft. Andernfalls ($n \geq 30$) kann entsprechend des zentralen Grenzwerttheorems davon ausgegangen werden, dass die Annahmen der Normalverteilung zutreffend sind (Döring & Bortz, 2016).

Da bei allen Fahrten jeweils dieselben Probanden bei den Versuchen partizipiert haben, handelt es sich um eine abhängige Stichprobe. Ferner werden grundsätzlich, entsprechend den Hypothesen, im weiteren Verlauf immer nur zwei Fahrtszenarien miteinander verglichen. Folglich liegt, mit der Szenariovariante, jeweils nur eine abhängige Variable vor.

Letztlich wurden somit alle Hypothesentests entweder mit dem t-Test für abhängige Stichproben, oder mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test überprüft. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass diejenigen Hypothesen aus Abschnitt 5.7, die einen Unterschied zwischen den Fahrten vermuten, als sogenannte Alternativhypothese zu verstehen sind. Die statistischen Tests hingegen untersuchen die Nullhypothese, also die Hypothese, die vermutet, dass kein Unterschied vorliegt. Die verwendeten statistischen Tests basieren auf einem Modell, dass von einer zutreffenden Nullhypothese ausgeht. Kann diese Annahme nicht mit hinreichender Wahrscheinlichkeit bestätigt werden, so liegt Signifikanz vor. Die Signifikanzniveaus drücken letztlich die Wahrscheinlichkeit aus, dass die Nullhypothese fälschlicherweise abgelehnt wird. Sie wird deswegen auch als Irrtumswahrscheinlichkeit bezeichnet (Döring & Bortz, 2016). Gängige Signifikanzniveaus sind $\alpha = 0,1$, $\alpha = 0,05$ und $\alpha = 0,01$ (Natrop, 2015) diese werden im weiteren Verlauf als *schwach signifikant* ($\alpha = 0,1$) *signifikant* ($\alpha = 0,05$) und *hoch signifikant* ($\alpha = 0,01$) bezeichnet. Liegt der Testwert p bei den statistischen Tests unter diesen Signifikanzniveaus, so wird die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese gilt als wahrscheinlich.

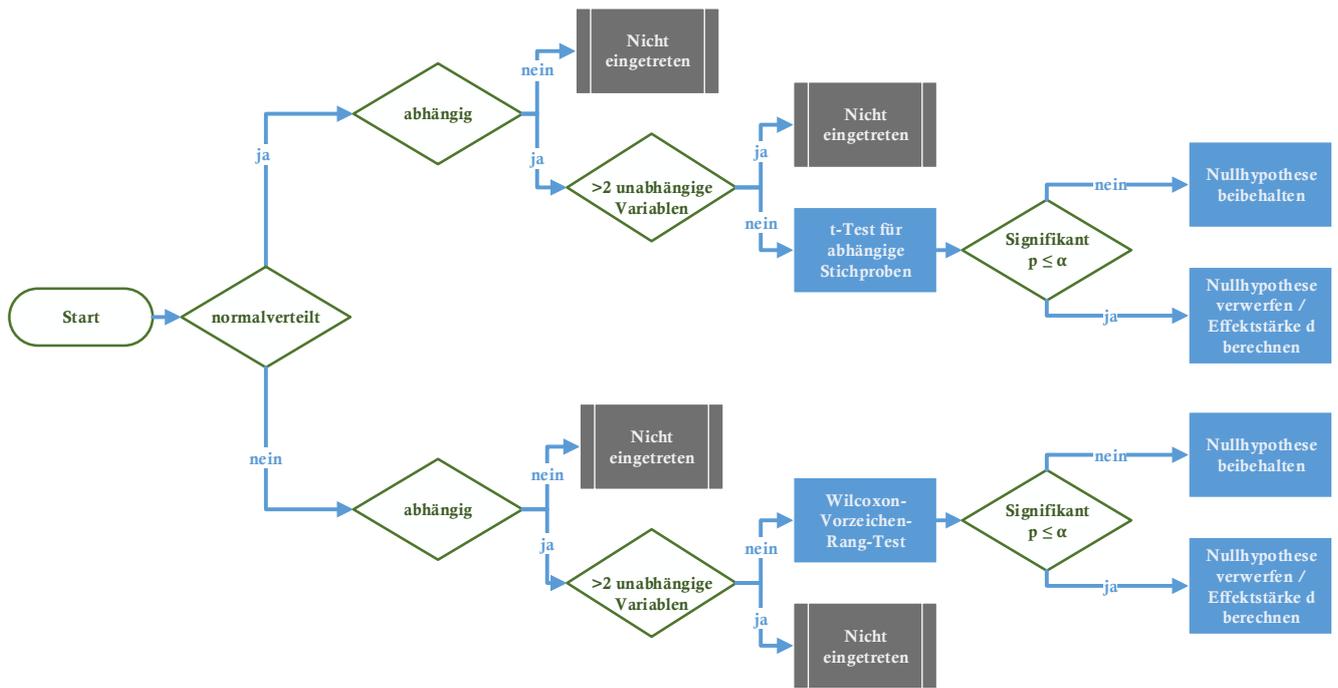


Abbildung 33: Entscheidungsdiagramm zur statistischen Auswertung in Anlehnung an (Blankenberger & Vorberg, 1998)

Zusätzlich zur Signifikanz ist die Effektstärke ein wichtiges Kriterium, da diese ausdrückt, wie stark der festgestellte wahrscheinliche Unterschied ausgeprägt ist. Die Effektstärke wird bei normalverteilten Vergleichen durch Cohens' d ausgedrückt. Cohen's d ist der Quotient der mittleren Differenzen der verglichenen Populationen und der Standardabweichung der Differenzen der Populationen (Cohen, J., 1988). Für den Fall der nicht normalverteilten Vergleichspopulation werden die Mediane miteinander verglichen, dafür wird der Teststatistikwert Z durch die Wurzel von n geteilt. Diese somit berechnete Größe r drückt die Effektstärke aus. Die Einteilung der Wertebereiche für die Beträge der Effektstärken sind in Tabelle 24 aufgeführt.

Tabelle 24: Klassifizierung der Effektstärke nach Cohen, J. (1988)

Wertebereich	Effektstärke
$0,2 \leq d < 0,5$	Kleiner Effekt
$0,5 \leq d < 0,8$	Mittlerer Effekt
$0,8 \leq d$	Großer Effekt
$0,1 \leq r < 0,3$	Kleiner Effekt
$0,3 \leq r < 0,5$	Mittlerer Effekt
$0,5 \leq r < 1$	Großer Effekt

Ausnahmen hinsichtlich der zuvor genannten Vorgehensweise zur statistischen Auswertung der Daten bilden die Hypothesen zum Nutzungserleben.

Die meCUE Befragungsergebnisse der einzelnen Dimensionen werden mit jeweils einem einzigen Referenzwert verglichen. Aus diesem Grund kommt der Einstichproben t-Test zum Einsatz. Dieser

Signifikanztest prüft anhand des Mittelwertes einer Stichprobe, ob der Mittelwert einer Grundgesamtheit gleich einem vorgegebenen Wert ist (bzw. kleiner oder größer).

Vor der Testdurchführung werden die Stichproben ebenfalls auf Ausreißer getestet und nach Winsor bereinigt. Anschließend werden die Daten auf Normalverteilung getestet, wengleich der Test ausreichend robust ist, um auch bei nicht normalverteilten Daten eine zuverlässige Aussage zur Signifikanz zu treffen (Shadish, Cook & Campbell, 2002; Wilcox, 2012). Wie zuvor werden im Anschluss an die Testdurchführung die Effektstärken bewertet.

Die zweite Ausnahme bilden die Leistungsdaten der Gamification-Aufgaben. Da in diesem Fall gleich vier Mittelwerte gleichzeitig miteinander verglichen werden, findet eine sogenannte Betrachtung mehrerer Stichproben statt.

Entsprechend werden alle Stichproben aus der Interaktionsfahrt (Intervall 3, 7, 11 und 15) in die Analyse mit einbezogen und, im Falle einer Normalverteilung, eine einfaktorische Varianzanalyse (analysis of variance, ANOVA) mit Messwiederholung durchgeführt (Field, 2009).

Neben der Normalverteilung muss Sphärizität der Stichproben gegeben sein, diese zweite Bedingung der Varianzanalyse mit Messwiederholung überprüft der Mauchly-Test. Dieser Test überprüft die Ähnlichkeit (Homogenität) der Korrelationen zwischen den Faktorstufen (Field, 2009). Bei Signifikanz ($p \leq 0,05$) ist die Annahme der Sphärizität verletzt, die Korrelationen sind nicht homogen und es ist eine Korrektur der Stichproben vorzunehmen. Eine solche Korrekturmöglichkeit bildet die Greenhouse-Geisser-Korrektur.

Kann die Sphärizität allerdings angenommen werden, so kann der Test auf Innersubjekteffekte ohne Korrektur erfolgen. Im Rahmen des Tests auf Innersubjekteffekte wird schließlich die eigentliche Varianzanalyse für den Messwiederholungsfaktor gerechnet. Für $p \leq 0,05$ leistet der Messwiederholungsfaktor (in der vorliegenden Arbeit die Variable *Intervall*) einen signifikanten Beitrag. Ist dies der Fall, wird schließlich eine Post-hoc-Analyse zwischen den Stufen des messwiederholten Faktors durchgeführt. Hierbei handelt es sich wieder um einen paarweisen Mittelwertvergleich (t-Test) mit Bonferroni-Korrektur, um zu erkennen, welche der Mittelwerte signifikante Differenzen aufweisen (Bortz & Schuster, 2010). So kann eine Aussage darüber getroffen werden, welche Parametersets sich signifikant voneinander unterscheiden.

Signifikanz liegt in diesem Falle ebenfalls bei einem Wert von $p \leq 0,05$ vor, da die Bonferroni-Korrektur bereits während der Berechnung erfolgt und in den Ergebnissen somit berücksichtigt ist. Alle Berechnungen werden mit der *IBM* Software *SPSS* durchgeführt.

6. Ergebnisse der Fahrsimulatorversuche

In diesem Kapitel werden die Versuchsergebnisse vorgestellt, ohne sie zunächst zu bewerten. Die Ergebnisse sind gegliedert in Subkapitel, eingeteilt nach Zugehörigkeit zu den in Abschnitt 5.1 formulierten Leithypothesen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse für das Auswertungsintervall 17 aus der Betrachtung aller Psycho-Physiologischen- und Fahrleistungs-Parameter ausgeschlossen wurden, da der in diesem Intervall durchgeführte Wildwechsel sämtliche Parameter stark beeinflusst und den Verlauf verzerrt.

6.1. Mentale Beanspruchung

Die Bewertung der subjektiven Beanspruchung erfolgte mittels der Kurzform des NASA TLX. Bei der Gesamtbewertung zeigt sich, dass die Beanspruchung bei der Interaktionsfahrt I mit 38,25 Punkten von 100 möglichen Punkten am höchsten ist, die Standardabweichung liegt bei 12,99 Punkten (siehe Abbildung 34). Die empfundene Beanspruchung bei der Alleinfahrt liegt mit 36,83 Punkten nur geringfügig darunter, die Standardabweichung erreicht hier 15,28 Punkte. Die empfundene Beanspruchung der Beifahrerfahrt B liegt dagegen bei nur 32,34 Punkten mit ebenfalls einer Standardabweichung (SD) von 15,28 Punkten.

Da aufgrund der Relevanz in Abschnitt 5.7.1 nur zu den Dimensionen der geistigen Anforderung, der Anstrengung und der Frustration, Hypothesen formuliert wurden, wird im Folgenden auch nur auf die genannten Dimensionen detaillierter eingegangen. Die geistige Anforderung liegt bei Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt im Mittel etwa auf gleicher Höhe. Die Interaktionsfahrt erreicht ein Mittel von 49,68 Punkten bei einer SD von 22,40 Punkten und die Beifahrerfahrt ein Mittel von 48,71 bei einer SD von 25,36 Punkten. Die geistige Anforderung bei der Alleinfahrt ist nach Angabe der Probanden wesentlich geringer mit einem Mittelwert von 29,68 Punkten bei einer SD von 21,93 Punkten.

Die empfundene Anstrengung liegt bei der Alleinfahrt mit 59,19 Punkten und einer SD von 24,63 Punkten am höchsten. Es folgt die Interaktionsfahrt mit 46,45 Punkten und einer SD von 20,66 Punkten. Die niedrigste Anstrengung empfanden die Probanden bei der Beifahrerfahrt mit einem Punktwert von 39,84 Punkten bei einer SD von 22,15 Punkten. Die Frustration ist die letzte Dimension des NASA-TLX, hier liegen die Werte ebenfalls bei der Alleinfahrt am höchsten mit 43,39 Punkten und einer SD von 26,47 Punkten, gefolgt von der Interaktionsfahrt in nicht allzu großem Abstand mit 37,42 Punkten und einer SD von 20,97 Punkten. Die deutlich niedrigsten Werte bei der Frustration erzielte die Beifahrerfahrt mit einem Punktwert von 23,87 Punkten bei einer SD von 20,68 Punkten.

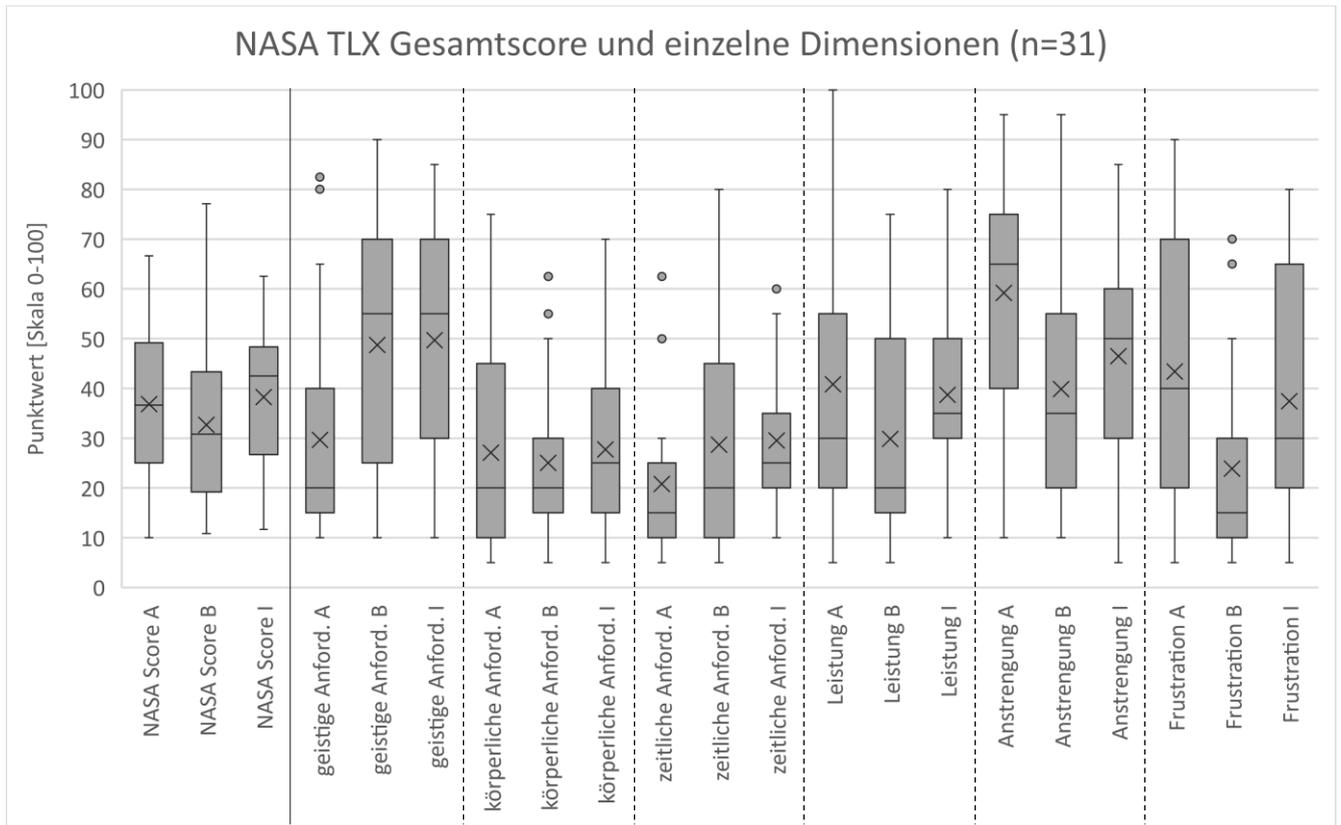


Abbildung 34: Deskriptive Ergebnisdarstellung der erhobenen mentalen Beanspruchung mittels NASA-TLX als Gesamtwert und als Teilergebnisse nach Dimensionen (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Inferenzstatistik:

Tabelle 25 fasst die Ergebnisse der Inferenzstatistik zusammen. Bezogen auf den Gesamtwert ergeben sich lediglich zwischen der Beifahrerfahrt und der Interaktionsfahrt signifikante Unterschiede mit einem geringen Effekt (NASA Gesamt B-I: $t(30) = -2,08$; $p = 0,05$; $d = 0,37$).

Tabelle 25: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der mentalen Beanspruchung

Messgröße	Abschnitt	Allein-fahrt(A)		Beifahrer-fahrt(B)		Interaktions-fahrt(I)		Stat. Test A - B	Effekt. A - B	Stat. Test A - I	Effekt. A - I	Stat. Test B - I	Effekt. B - I
		M	SD	M	SD	M	SD	n = 31	---	n = 31	---	n = 31	---
NASA TLX	Gesamt	36,83	15,28	32,34	15,28	38,25	12,99	$t = 1,27$ $p = 0,21$	---	$t = -0,50$ $p = 0,62$	---	$t = -2,08^{**}$ $p = 0,05$	$d = 0,37$
	Geistige Anforderung	29,68	21,93	48,71	25,36	49,68	22,40	$t = -4,36^{***}$ $p < 0,01$	$d = 0,78$	$t = -4,62^{***}$ $p < 0,01$	$d = 0,83$	$t = -0,18$ $p = 0,85$	---
	Körperliche Anforderung	27,10	20,73	28,71	22,21	27,74	16,37	$Z = -0,11$ $p = 0,92$	---	$t = -0,16$ $p = 0,88$	---	$Z = -0,46$ $p = 0,66$	---
	Zeitliche Anforderung	20,81	14,77	25,00	16,42	29,52	14,85	$t = -2,38^{**}$ $p = 0,02$	$d = 0,43$	$t = -2,95^{***}$ $p < 0,01$	$d = 0,53$	$t = -0,21$ $p < 0,84$	---
	Leistung	40,81	25,43	29,84	20,51	38,71	16,02	$Z = -1,46$ $p = 0,15$	---	$t = 212,5$ $p = 0,92$	---	$t = -2,36^{**}$ $p = 0,02$	$d = 0,42$
	Anstrengung	59,19	24,63	39,84	22,15	46,45	20,66	$t = 3,91^{***}$ $p < 0,01$	$d = 0,70$	$Z = -3,02^{***}$ $p < 0,01$	$r = 0,54$	$t = -1,54$ $p = 0,13$	---
	Frustration	43,39	26,47	23,87	20,68	37,42	20,97	$t = 3,03^{***}$ $p < 0,01$	$d = 0,54$	$Z = -1,50$ $p = 0,13$	---	$t = -2,90^{***}$ $p < 0,01$	$d = 0,52$

* $p < 0,1$ schwach signifikant, ** $p < 0,05$ signifikant, *** $p < 0,01$ hoch signifikant; Z: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t: t-Test für abhängige Stichproben

Die im Vergleich zur Alleinfahrt und Beifahrerfahrt höhere Gesamtpunktzahl der Interaktionsfahrt ergibt sich aus einer hohen Bewertung der geistigen Anforderung, die sich hoch signifikant von der Bewertung der geistigen Anforderung der Alleinfahrt unterscheidet. Auch die geistige Anforderung bei der Beifahrerfahrt wird hoch signifikant unterschiedlich zur Alleinfahrt bewertet. Die Effekte zwischen Alleinfahrt und Interaktionsfahrt sind stark (NASA geistige Anford. A-I: $t(30)=-4,62$; $p<0,01$; $d=0,83$) und die zwischen Alleinfahrt und Beifahrerfahrt mittel-stark (NASA geistige Anford. A-B: $t(30)=-4,36$; $p<0,01$; $d=0,78$).

Die höhere Gesamtbewertung ergibt sich bei der Alleinfahrt hingegen aus einer sehr hohen Bewertung der Anstrengung, die sich hoch signifikant von der Anstrengungsbewertung der anderen beiden Szenarien unterscheidet. Bei beiden Vergleichen liegen mittlere Effekte vor (NASA Anstrengung A-I: $Z(30)=-3,02$; $p<0,01$; $r=0,54$ | A-B: $t(30)=3,91$; $p<0,01$; $d=0,70$).

Hinsichtlich der Frustration liegen zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt keine signifikanten Unterschiede vor. Hoch signifikant unterschiedlich ist dagegen die Beifahrerfahrt in dieser Hinsicht zur Interaktionsfahrt und zur Alleinfahrt mit jeweils mittleren Effekten (NASA Frustration B-I: $t(30)=-2,90$; $p<0,01$; $d=0,52$ | A-B: $t(30)=3,03$; $p<0,01$; $d=0,54$).

Eine übersichtliche Darstellung über die vorgestellten Ergebnisse der mentalen Beanspruchung und ihrer Bedeutung für die formulierten Hypothesen findet sich in Tabelle 26. Die Hypothese zum NASA TLX Gesamtwert im Vergleich Interaktionsfahrt zu Alleinfahrt wird beibehalten, während die Hypothese zum Vergleich des Gesamtwertes von Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt verworfen wird. Die Hypothese, dass auf der Interaktionsfahrt eine Punktzahl unter 60 erzielt wird, wurde nicht widerlegt. In beiden Vergleichen (A-I und B-I) verhalten sich geistigen Anforderung und Anstrengung wie erwartet zueinander. Die Hypothesen zur Frustration müssen verworfen werden.

Tabelle 26: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die mentale Beanspruchung (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%)

	Kenngröße	Hypothese	Test
A-I	NASA TLX Gesamt	Ges.I = Ges.A	=
	NASA TLX Gesamt	Ges.I < 60	<
	NASA geistige Anforderung	gA.I > gA.A	>
	NASA Anstrengung	Anst.I < Anst.A	<
	NASA Frustration	Frust.I < Frust.A	=
B-I	NASA TLX Gesamt	Ges.I = Ges.B	>
	NASA geistige Anforderung	gA.I = gA.B	=
	NASA Anstrengung	Anst.I = Anst.B	=
	NASA Frustration	Frust.I = Frust.B	>

6.2. Psycho-physiologische Müdigkeit

6.2.1. Karolinska-Sleepiness-Scale

Die Ergebnisse zeigen bei der Alleinfahrt einen durchschnittlichen Anstieg um 2,23 Müdigkeitsstufen bei einer Standardabweichung von 2,01 Stufen. Auf der Interaktionsfahrt steigt die mit der Karolinska-Sleepiness-Scale erhobene Müdigkeit dagegen um nur 1,35 Stufen an mit einer SD von 1,58 Stufen. Die Beifahrerfahrt führte sogar zu einer Minderung der subjektiv empfundenen Müdigkeit um 0,35 Stufen mit einer Standardabweichung von 1,98 Stufen (siehe Abbildung 35).

Der Ausgangszustand der Müdigkeit war bei allen Fahrversuchen annähernd identisch. Die Probanden bewerteten vor der Beifahrerfahrt und der Interaktionsfahrt ihre Müdigkeit jeweils mit einer 4,23 im Mittel, bei einer SD von 1,28 Stufen bei der Beifahrerfahrt und 1,45 Stufen bei der Interaktionsfahrt. Bei der Alleinfahrt erschienen die Probanden nach eigenen Angaben minimal weniger müde, mit einer durchschnittlichen Bewertung von 3,94 und einer SD von 1,54. Alle Bewertungen entsprechen mit einem Median von 4 der Bewertung *eher aufmerksam* auf der Karolinska-Sleepiness-Scale.

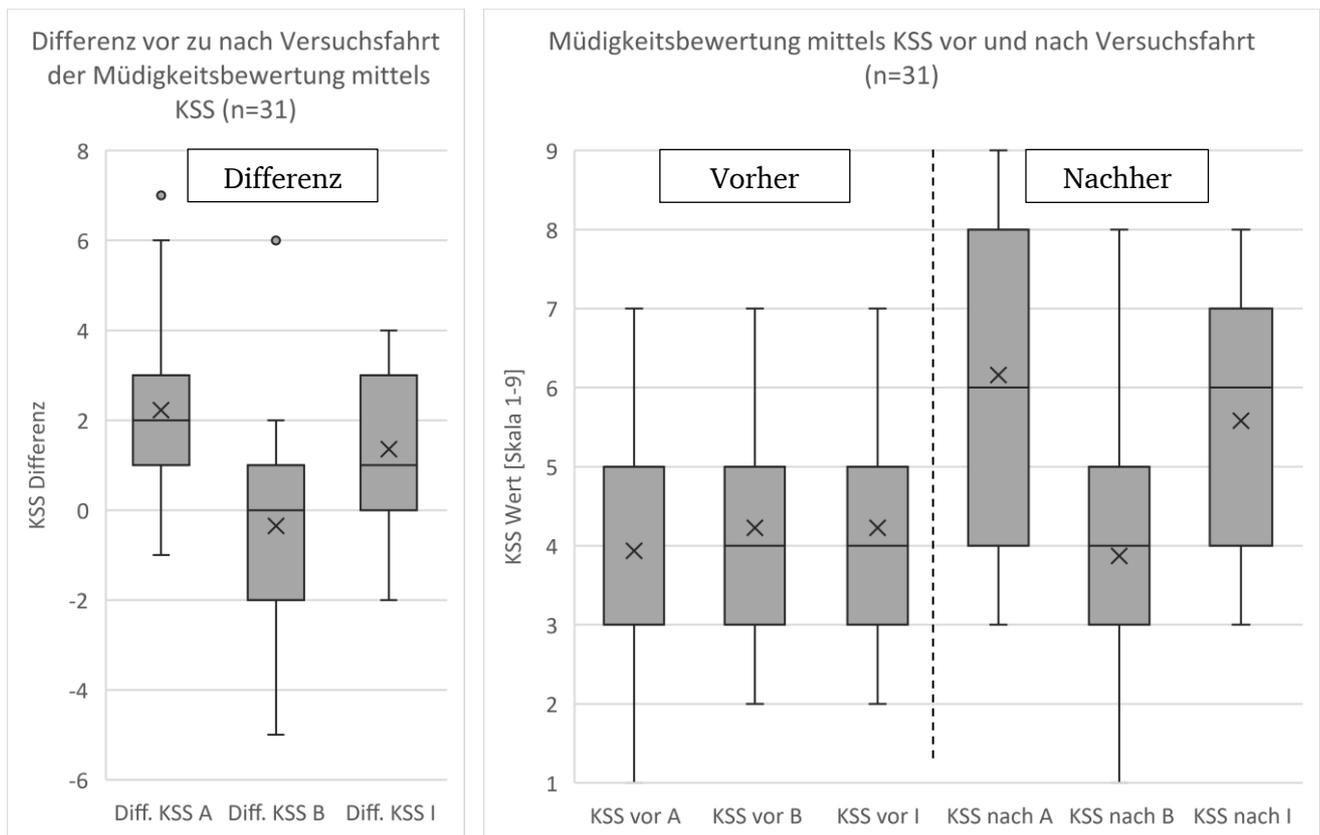


Abbildung 35: Deskriptive Ergebnisdarstellung der mittels KSS (Skala 1-9) erhobenen Veränderung der subjektiven Müdigkeit als Differenzen (links) und als Ausgangs und Endzustand (rechts; A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Inferenzstatistik:

Die statistischen Vergleiche zwischen den Szenarien (siehe Tabelle 27) ergeben signifikante Unterschiede der Differenzen der Müdigkeitsbewertung für den Vergleich zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt mit allerdings nur schwachen bis mittleren Effekten (KSS Differenz A-I: $t(30)=2,41$;

$p=0,02$; $d=0,43$). Der Vergleich zwischen der Beifahrerfahrt und der Interaktionsfahrt offenbart hoch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Fahrten mit mittleren Effekten (KSS Differenz B-I: $t(30)=-3,84$; $p<0,01$; $d=0,69$). Die deutlichsten und ebenfalls hoch signifikanten Unterschiede mit starken Effekten treten im Vergleich zwischen Beifahrerfahrt und Alleinfahrt auf (KSS Differenz A-B: $t(30)=5,34$; $p<0,01$; $d=0,96$).

Tabelle 27: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Veränderung der subjektiven Müdigkeit erhoben mittels KSS

Messgröße	Abschnitt	Alleinfahrt (A)		Beifahrerfahrt (B)		Interaktionsfahrt (I)		Stat. Test A - B	Effekt. A - B	Stat. Test A - I	Effekt. A - I	Stat. Test B - I	Effekt. B - I
		M	SD	M	SD	M	SD	n = 31		n = 31		n = 31	
KSS Differenz	Vor vs. Nach	2,23	2,01	-0,35	1,98	1,35	1,58	$t = 5.34^{***}$ $p < 0,01$	$d = 0.96$	$t = 2.41^{**}$ $p = 0,02$	$d = 0.43$	$t = -3.84^{***}$ $p < 0,01$	$d = 0.69$

* $p<0.1$ schwach signifikant, ** $p<0.05$ signifikant, *** $p<0.01$ hoch signifikant; Z: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t: t-Test für abhängige Stichproben

Zusammenfassend wird die Hypothese, dass die Differenz der Müdigkeitsbewertung auf der Interaktionsfahrt geringer ausfällt als auf der Alleinfahrt nicht verworfen. Im Gegensatz dazu wird die Hypothese, dass die Differenzen der Müdigkeitsbewertung (von vor der Versuchsfahrt zu nach der Versuchsfahrt) auf der Beifahrer- und der Interaktionsfahrt identisch ausfallen, verworfen.

Tabelle 28: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die subjektive Müdigkeitsbewertung mittels KSS (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%)

	Kenngröße	Hypothese	Test
A-I	Differenz KSS	Ges.I < Ges.A	<
B-I	Differenz KSS	Ges.I = Ges.B	>

6.2.2. Hautleitwert

Für den tonischen Anteil des Hautleitwerts, ausgedrückt durch die SCL, liegen für alle 31 Probanden Messwerte vor. Ein niedrigerer Wert steht laut der Theorie für eine niedrigere Aktiviertheit und eine erhöhte Müdigkeit.

Die SCL zeigt zwischen den Fahrscenarien kaum Unterschiede in den Mittelwerten auf. Der tonische Wert liegt bei der Alleinfahrt bei $0,31\mu S$ bei einer Standardabweichung von $0,11\mu S$. Bei der Beifahrerfahrt liegt der Wert ebenfalls bei $0,31\mu S$ mit einer minimal geringeren Standardabweichung von $0,09\mu S$. Der Wert der Interaktionsfahrt liegt minimal höher bei $0,32\mu S$ mit einer Standardabweichung von $0,11\mu S$. Abbildung 36 zeigt die Verteilung der Mittelwerte der Probanden in Form von Box-Plots. Die Werte aller Intervalle sind tabellarisch in „Anhang 18: Änderung der SCL über alle Intervalle“ aufgeführt.

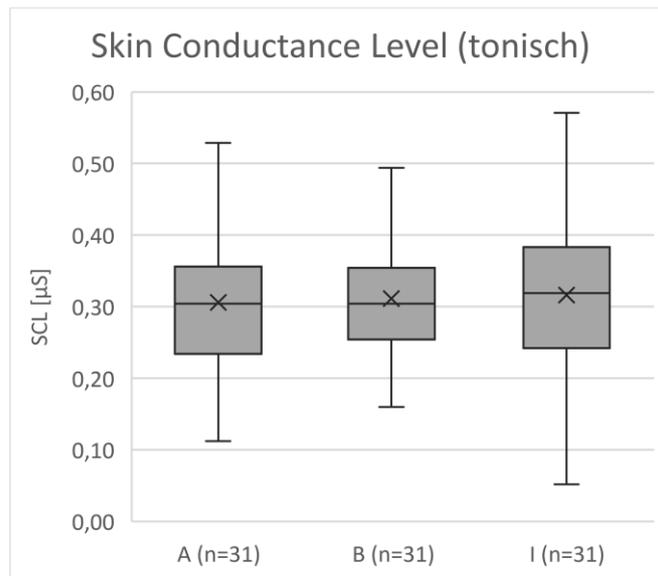


Abbildung 36: Deskriptive Ergebnisdarstellung der über die Versuchsdauer gemittelten SCL (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Dass sich trotz ähnlicher Gesamtmittel eine unterschiedliche Entwicklung der SCL in den verschiedenen Fahrten eingestellt hat, wird in Abbildung 37 deutlich. In allen Intervallen, die auf der Abszisse mit einem „*“ gekennzeichnet sind, fand während der Interaktionsfahrt eine Interaktionssession statt.

In Intervall 1 liegt die SCL von Interaktionsfahrt (MW $0,49\mu\text{S}$, SD $0,17\mu\text{S}$) und Beifahrerfahrt (MW $0,47\mu\text{S}$, SD $0,20\mu\text{S}$) deutlich über dem Wert der Alleinfahrt (MW $0,26\mu\text{S}$, SD $0,13\mu\text{S}$).

Der hohe Wert zu Beginn der Fahrt und somit zu Beginn der technischen und natürlichen Interaktionen legt sich bereits in Intervall zwei. Die SCL der Interaktionsfahrt fällt in diesem interaktionsfreien Intervall auf $0,29\mu\text{S}$ (SD $0,16\mu\text{S}$). Auf der Beifahrerfahrt sinkt die SCL im Vergleich weniger auf $0,37\mu\text{S}$ (SD $0,16\mu\text{S}$). Den niedrigsten Wert nimmt die SCL weiterhin auf der Alleinfahrt ein (MW $0,22\mu\text{S}$, SD $0,13\mu\text{S}$). Im ersten Vergleichsintervall (Intervall 3; nach ca. 0,5 Stunden Versuchsdauer) liegen die Werte der SCL erneut näher beieinander. Ein Anstieg der SCL während dem Interaktionsintervall führt dazu, dass die SCL der Interaktionsfahrt (MW $0,35\mu\text{S}$, SD $0,16\mu\text{S}$) und der Beifahrerfahrt (MW $0,34\mu\text{S}$, SD $0,16\mu\text{S}$) nahezu identisch sind. Die SCL der Beifahrerfahrt liegt wiederum deutlich niedriger bei einem Mittelwert von $0,25\mu\text{S}$ (SD $0,14\mu\text{S}$).

In den folgenden drei Intervallen sinkt die SCL auf der Beifahrerfahrt sukzessive weiter ab, während die SCL auf der Alleinfahrt zu gleichen Teilen ansteigt. Sprunghafte Änderungen der SCL ergeben sich hingegen auf der Interaktionsfahrt, während in den Interaktionsintervallen ein Anstieg zu verzeichnen ist, sinkt der Wert in den interaktionsfreien Intervallen.

Im nächsten Vergleichsintervall (Intervall 7 ca. 1 Stunde Versuchsdauer) steigt der Wert der Interaktionsfahrt auf den höchsten Wert (MW $0,35\mu\text{S}$, SD $0,16\mu\text{S}$) seit dem ersten Intervall an. Den niedrigsten Wert nimmt die SCL auf der Beifahrerfahrt (MW $0,29\mu\text{S}$, SD $0,13\mu\text{S}$) an und auf der Alleinfahrt (MW $0,32\mu\text{S}$, SD $0,17\mu\text{S}$) liegt der Wert mittig der anderen Szenarien.

In der darauffolgenden halben Stunde setzt sich die Entwicklung der SCL auf Alleinfahrt und Beifahrerfahrt weiter fort. Die SCL auf der Alleinfahrt steigt weiter, wenn auch in kleineren Schritten an und die SCL der Beifahrerfahrt sinkt über die Zeit weiter ab. Auf der Interaktionsfahrt entwickelt sich die SCL weiterhin sprunghaft, jedoch ist auch in diesem Szenario zu erkennen, dass der Betrag der Sprünge abnimmt.

Nach etwa 1,5 Stunden Fahrzeit (Intervall 11) liegt die SCL der Alleinfahrt (MW $0,34\mu\text{S}$, SD $0,17\mu\text{S}$) erstmals in einem Vergleichsintervall leicht über der SCL der Interaktionsfahrt (MW $0,33\mu\text{S}$, SD $0,15\mu\text{S}$). Zum gleichen Zeitpunkt ist die SCL auf der Beifahrerfahrt (MW $0,29\mu\text{S}$, SD $0,20\mu\text{S}$) erstmals seit Beginn der Fahrt leicht gestiegen.

In den folgenden drei Intervallen nimmt die Entwicklung der SCL dann vor allem auf der Alleinfahrt eine Wende, da sie ab Intervall 12 stetig um etwa $0,02\mu\text{S}$ pro Intervall abfällt. Im Vergleichsintervall 15 nach etwa 2 Stunden Fahrzeit beträgt die SCL auf der Beifahrerfahrt dann $0,29\mu\text{S}$ bei einer Standardabweichung von $0,17\mu\text{S}$. Bis zu diesem Zeitpunkt hat sich die SCL der Beifahrerfahrt hingegen kaum verändert und beträgt im Vergleichsintervall $0,29\mu\text{S}$ (SD $0,20\mu\text{S}$). Die Sprünge der SCL der Interaktionsfahrt sind im Betrag erneut geringer, jedoch ist kein ansteigender oder fallender Trend der SCL zu erkennen. Im Vergleichsintervall 15 liegt die SCL der Interaktionsfahrt bei $0,33\mu\text{S}$ (SD $0,20\mu\text{S}$). Im letzten Intervall gleichen sich die Werte weiter an und liegen bei Alleinfahrt und Beifahrerfahrt gleich auf ($0,30\mu\text{S}$). Der Wert der Interaktionsfahrt liegt in diesem interaktionsfreien Intervall leicht darunter ($0,28\mu\text{S}$).

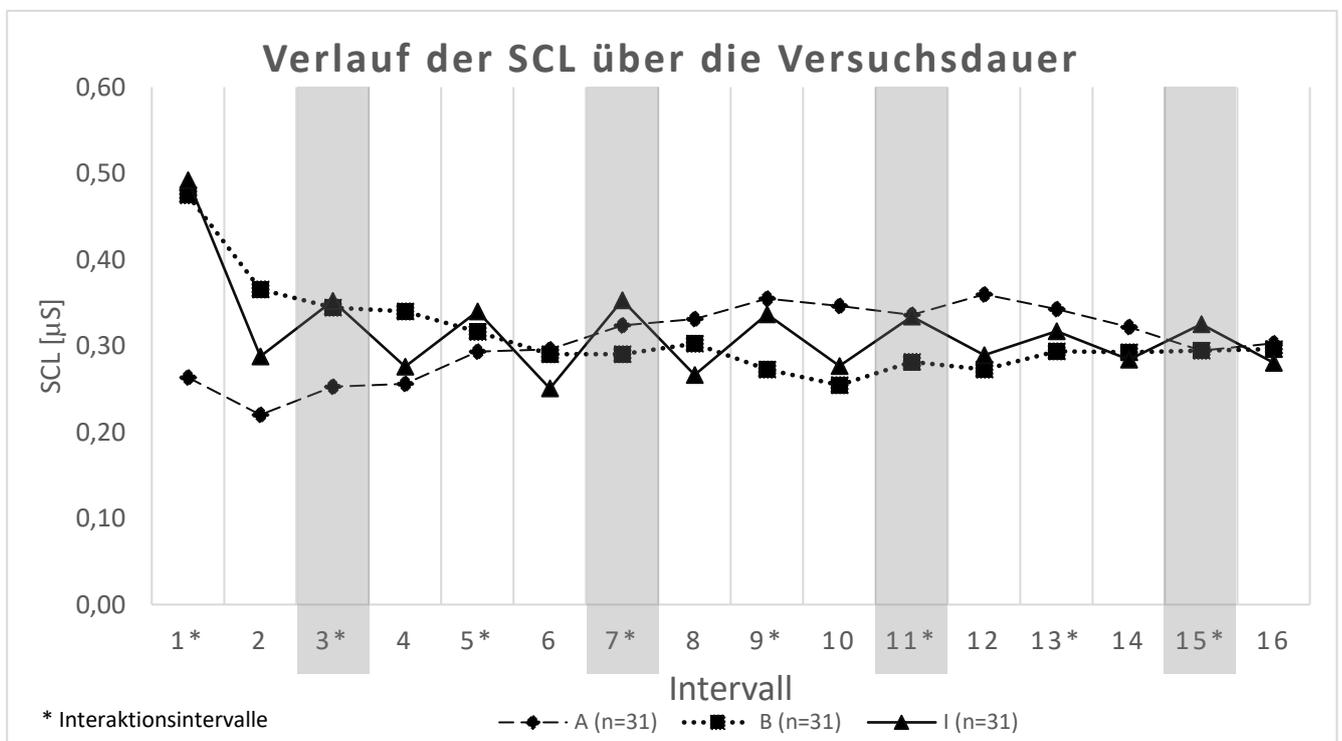


Abbildung 37: Deskriptive Ergebnisdarstellung des Verlaufs der über die Probanden gemittelten SCL über die Versuchsdauer (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Inferenzstatistik:

Die Inferenzstatistik (Tabelle 29) gibt Aufschluss darüber, ob die zuvor beschriebenen Unterschiede in den Verläufen Signifikanz aufweisen. Aufgrund der sprunghaften Entwicklung der SCL auf der Interaktionsfahrt wurden die für die Bearbeitung der Hypothesen notwendigen Vergleiche durch Vergleiche für die interaktionsfreien Intervalle ergänzt. Auf letztere wird in der Diskussion in Abschnitt 7.2.2 näher eingegangen.

Über den Verlauf treten in Intervall 3 signifikante Unterschiede mit mittleren Effekten zwischen der Beifahrer- und der Alleinfahrt, sowie der Interaktions- und der Alleinfahrt auf. Hierbei liegt der SCL Wert der Alleinfahrt mit $0,25\mu\text{S}$ jeweils hoch signifikant mit mittleren Effekten unter dem Wert von Beifahrerfahrt $0,34\mu\text{S}$ (SCL Intervall 3 A-B: $t(30)=2,84$; $p<0,01$; $d=0,51$) und Interaktionsfahrt $0,35\mu\text{S}$ (SCL Intervall 3 A-I: $t(30)=2,77$; $p=0,01$; $d=0,50$). In Intervall 7 sind dagegen die Unterschiede zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt statistisch signifikant mit kleinen Effekten (SCL Intervall 7 B-I: $t(30)=2,07$; $p=0,05$; $d=0,37$).

Bezüglich der Hypothesen sind keine weiteren Vergleiche signifikant. Für die interaktionsfreien Intervalle ergeben sich weitere signifikante Vergleiche. In Intervall 4 sind die Werte der SCL der Alleinfahrt und der Beifahrerfahrt hoch signifikant unterschiedlich mit mittleren Effekten (SCL Intervall 4 A-B: $t(30)=2,87$; $p<0,01$; $d=0,52$). Ebenso unterschieden sich die SCL der Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt signifikant mit kleinen Effekten voneinander (SCL Intervall 4 B-I: $t(30)=-2,41$; $p=0,02$; $d=0,43$). In Intervall 8 (SCL Intervall 8 A-I: $t(30)=-1,84$; $p=0,08$; $d=0,33$) und Intervall 12 (SCL Intervall 12 A-I: $t(30)=-1,78$; $p=0,09$; $d=0,32$) sind die Unterschiede zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt schwach signifikant, mit kleinen Effekten und auch die SCL der Beifahrerfahrt ist in Intervall 12 signifikant, mit kleinen Effekten unterschiedlich zur SCL der Alleinfahrt (SCL Intervall 12 A-B: $t(30)=-2,49$; $p=0,02$; $d=0,45$).

Zusammengefasst (siehe Tabelle 30) muss die Hypothese zum Gesamtvergleich der SCL zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt ebenso, wie die Hypothesen zu Intervall 7 und 11 verworfen werden, da die SCL sich in den genannten Vergleichen nicht signifikant unterscheiden. Beibehalten werden kann die Hypothese zu Intervall 3 und 15. Diskutiert werden müssen die Vergleiche in den interaktionsfreien Intervallen, die darauf hindeuten, dass sich während der Interaktionen verschiedene Einflüsse auf die SCL überlagern.

Im Vergleich zwischen den Werten der SCL der Interaktionsfahrt und der Beifahrerfahrt können die meisten Hypothesen beibehalten werden, lediglich im mittleren Intervall 7 liegt die SCL der Interaktionsfahrt signifikant über der SCL der Beifahrerfahrt, sodass die Hypothese zu Intervall 7 verworfen wird.

Tabelle 29: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich des tonischen Hautleitwerts (SCL)

Messgröße	Abschnitt	Alleinfahrt (A)		Beifahrerfahrt (B)		Interaktionsfahrt (I)		Stat. Test A - B	Effekt. A - B	Stat. Test A - I	Effekt. A - I	Stat. Test B - I	Effekt. B - I
		M	SD	M	SD	M	SD	n = 31		n = 31		n = 31	
SCL [μ S]	Gesamt	0,31	0,11	0,31	0,09	0,32	0,11	t = 0,26 p = 0,80	---	t = 0,39 p = 0,70	---	t = 0,23 p = 0,82	---
	Intervall 3	0,25	0,14	0,34	0,16	0,35	0,16	t = 2,84*** p < 0,01	d = 0,51	t = 2,77*** p = 0,01	d = 0,50	t = 0,25 p = 0,80	---
	Intervall 7	0,32	0,17	0,29	0,13	0,35	0,16	t = -1,02 p = 0,32	---	t = 0,75 p = 0,46	---	t = 2,07** p = 0,05	d = 0,37
	Intervall 11	0,34	0,17	0,28	0,14	0,33	0,15	t = -1,63 p = 0,11	---	t = -0,05 p = 0,96	---	t = 1,64 p = 0,11	---
	Intervall 15	0,29	0,17	0,29	0,20	0,33	0,20	t = 0,00 p = 1,0	---	t = 0,73 p = 0,47	---	t = 0,66 p = 0,51	---
Zusatzvergleiche Intervalle ohne Interaktion													
	Intervall 4	0,26	0,14	0,34	0,14	0,28	0,14	t = 2,87*** p < 0,01	d = 0,52	t = 0,56 p = 0,58	---	t = -2,41** p = 0,02	d = 0,43
	Intervall 8	0,33	0,15	0,30	0,12	0,27	0,13	t = -0,90 p = 0,37	---	t = -1,84* p = 0,08	d = 0,33	t = -1,31 p = 0,20	---
	Intervall 12	0,36	0,17	0,27	0,14	0,29	0,15	t = -2,49** p = 0,02	d = 0,45	t = -1,78* p = 0,09	d = 0,32	t = 0,47 p = 0,64	---
	Intervall 16	0,30	0,19	0,30	0,20	0,28	0,20	t = -0,16 p = 0,88	---	t = -0,48 p = 0,64	---	t = -0,32 p = 0,75	---

*p<0.1 schwach signifikant, **p<0.05 signifikant, ***p< 0.01 hoch signifikant; Z: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t: t-Test für abhängige Stichproben

Tabelle 30: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für den Hautleitwert SCL (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%)

	Kenngröße	Hypothese	Test
A-I	SCL Gesamt	Ges.I > Ges.A	=
	SCL Intervall 3	3.I > 3.A	>
	SCL Intervall 7	7.I > 7.A	=
	SCL Intervall 11	11.I > 11.A	=
	SCL Intervall 15	15.I = 15.A	=
B-I	SCL Gesamt	Ges.I = Ges.B	=
	SCL Intervall 3	3.I = 3.B	=
	SCL Intervall 7	7.I = 7.B	>
	SCL Intervall 11	11.I = 11.B	=
	SCL Intervall 15	15.I = 15.B	=

Es fällt auf, dass zwischen Alleinfahrt und Interaktionsfahrt in den zuvor ausgewählten Intervallen kaum Unterscheide hinsichtlich der SCL festgestellt werden konnten. Dies ist aber, wie die zusätzlichen Vergleiche in den interaktionsfreien Intervallen zeigen, nicht auf eine fehlerhafte Messgrößenauswahl, sondern auf die Auswahl der Vergleichsintervalle zurückzuführen. Hinsichtlich der SCL wäre ein Vergleich der Entwicklungen in den interaktionsfreien Intervallen besser geeignet gewesen. Eine vertiefte Diskussion findet in Kapitel 7 statt.

6.2.3. Herzschlagrate

Die Herzschlagrate liegt bei allen Fahrscenarien im Mittel in ähnlichen Bereichen (siehe Abbildung 38, links). Auf der Alleinfahrt beträgt die gemittelte Herzschlagrate 73,78 S/min bei einer Standardabweichung von 7,88 Schlägen. Bei der Beifahrerfahrt beträgt der Mittelwert 75,14 S/min bei einer Standardabweichung von 8,77 S/min. Die gemittelte Herzschlagrate der Interaktionsfahrt beträgt 74,48 S/min, hier weist die Herzschlagrate mit 9,95 S/min die höchste Standardabweichung auf. Insgesamt liegen die gemittelten Werte also nur etwa 1,5 S/min auseinander.

Auch der Verlauf der Herzschlagrate über die Versuchszeit (siehe Abbildung 38, rechts) offenbart zwischen den Fahrten nur geringfügige Unterschiede. In Intervall 3 liegt die gemittelte Herzschlagrate auf allen Fahrten im Bereich zwischen 76,17 S/min (Alleinfahrt) und 79,94 S/min (Beifahrerfahrt) und liegt damit etwa 1,8 Schläge auseinander. In Intervall 15 liegt die Herzschlagrate zwischen 71,17 S/min (Alleinfahrt) und 72,23 S/min (Interaktionsfahrt) und damit nur knapp einen Schlag pro Minute auseinander. Die allgemeine Entwicklung ist somit nahezu identisch (die detaillierten Intervallwerte sind in „Anhang 19: Änderung der HR über alle Intervalle“ tabellarisch aufgeführt).

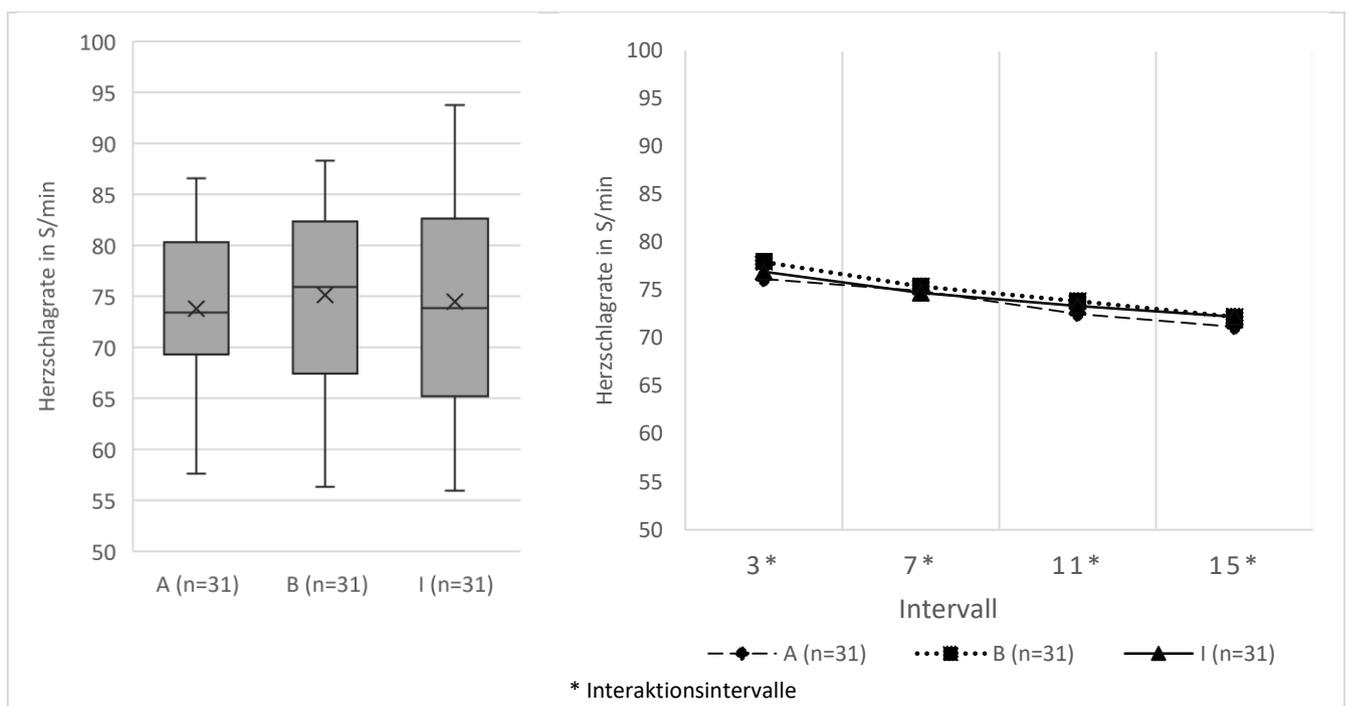


Abbildung 38: Deskriptive Ergebnisdarstellung der Herzschlagrate gemittelt über die gesamte Versuchszeit über alle Probanden (links) und gemittelt innerhalb der Vergleichsintervalle über alle Probanden (rechts; A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Inferenzstatistik:

Zwischen den Szenarien können bei der Gesamtbetrachtung keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (siehe Tabelle 31). Ein Vergleich innerhalb der ausgewählten Intervalle 3, 7, 11 und 15 erübrigt sich, da auch deskriptiv keine Unterschiede hinsichtlich der Herzschlagrate zwischen den Fahrscenarien ausgemacht werden konnten.

Tabelle 31: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Herzschlagrate (HR)

Messgröße	Abschnitt	Alleinfahrt (A)		Beifahrerfahrt (B)		Interaktionsfahrt (I)		Stat. Test A - B	Effekt. A - B	Stat. Test A - I	Effekt. A - I	Stat. Test B - I	Effekt. B - I
		M	SD	M	SD	M	SD	n = 31		n = 31		n = 31	
HR [S/min]	Gesamt	73,79	7,88	75,14	8,77	74,48	9,95	t = 1,19 p = 0,24	---	t = 0,70 p = 0,49	---	Z = -1,31 p = 0,19	---

*p<0.1 schwach signifikant, **p<0.05 signifikant, ***p< 0.01 hoch signifikant; Z: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t: t-Test für abhängige Stichproben

Insgesamt wird die Hypothese zum Vergleich Interaktionsfahrt zu Alleinfahrt verworfen und die Hypothese zum Vergleich Interaktionsfahrt zu Beifahrerfahrt beibehalten (siehe Tabelle 32), da sich die Herzschlagrate auf allen drei Fahrten in ähnlicher Weise entwickelt hat und keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden konnten. Sensibler für mentale Beanspruchung ist die Herzschlagratenvariabilität, deren Ergebnisse im nächsten Abschnitt vorgestellt werden.

Tabelle 32: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für Herzschlagrate (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%)

	Kenngröße	Hypothese	Test
A-I	HR Gesamt	Ges.I > Ges.A	=
B-I	HR Gesamt	Ges.I = Ges.B	=

6.2.4. Herzschlagvariabilität

Die SDNN leitet sich aus den Aufzeichnungen des Elektrokardiogramms ab, allerdings muss im Unterschied zur Herzschlagrate ein Proband (Proband 8) als extremer Ausreißer ausgeschlossen werden, da vermutlich aufgrund einer falschen Aufzeichnungsfrequenz die Standardabweichung der R-Zackenabstände unnatürlich hoch ausfielen. Eine höhere SDNN steht ein stärkerer Anstieg der SDNN für einen stärkeren Anstieg der Müdigkeit. Auf der anderen Seite ist bei hoher mentaler Beanspruchung ein höheres Wertenniveau zu erwarten.

Die SDNN liegt im Mittel insgesamt bei der Alleinfahrt bei 66,36ms bei einer Standardabweichung von 20,29ms, auf der Beifahrerfahrt bei 72,02ms bei einer Standardabweichung von 24,37ms und bei der Interaktionsfahrt bei 65,42ms und einer Standardabweichung von 23,78ms.

Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 39 in Boxplots dargestellt. Die unterschiedlichen Verläufe der drei Szenarien für die SDNN sind in Abbildung 40 dargestellt. Hervorgehoben durch eine graue Unterlegung sind die für die Inferenzstatistik relevanten Intervalle 3, 7, 11 und 15. In allen Intervallen, die auf der Abszisse mit einem „*“ gekennzeichnet, fand eine Interaktion auf der Interaktionsfahrt statt (die detaillierten Intervallwerte sind in „Anhang 18: Änderung der SCL über alle Intervalle“ tabellarisch aufgeführt).

In den ersten beiden Intervallen liegt die SDNN auf der Beifahrerfahrt (Intervall 1: MW 64,92ms, SD 21,87ms; Intervall 2: MW 66,05ms, SD 28,11ms) um mehr als zehn Millisekunden über den Werten der Alleinfahrt (Intervall 1: MW 52,40ms, SD 22,71ms; Intervall 2: MW 52,41ms, SD 20,40ms) und der Interaktionsfahrt (Intervall 1: MW 55,74ms, SD 26,06ms; Intervall 2: MW 53,07ms, SD 23,79ms).

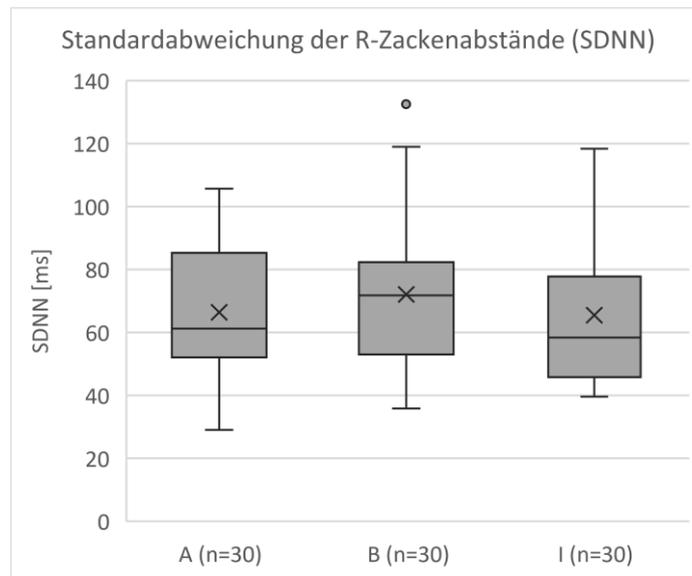


Abbildung 39: Deskriptive Ergebnisdarstellung der über die Versuchsdauer gemittelten SDNN (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Nach ungefähr einer halben Stunde Fahrtzeit liegen im ersten Vergleichsintervall (Intervall 3) die gemessenen Werte der SDNN dann näher beieinander. Die SDNN der Beifahrerfahrt ist in diesem Intervall nahezu unverändert gegenüber den ersten beiden Intervallen (MW 65,10ms, SD 20,21ms). Die SDNN der Alleinfahrt (MW 61,14ms, SD 22,70ms) und der Interaktionsfahrt (MW 61,31ms, SD 27,45ms) sind hingegen von einem ähnlichen Ausgangsniveau auf ein ähnliches Niveau in Intervall 3 angestiegen.

Über die folgenden zwei Intervalle tritt auf allen Fahrten kaum eine Veränderung ein, bevor sich in Intervall 6 die SDNN der Alleinfahrt unterschiedlich gegenüber der SDNN der Interaktionsfahrt entwickelt und sich der SDNN der Beifahrerfahrt annähert. Im nächsten Vergleichsintervall (Intervall 7) bestätigt sich diese Entwicklung, sodass nach ungefähr einer Stunde Fahrtzeit die SDNN von Alleinfahrt (MW 69,78ms, SD 21,25ms) und Beifahrerfahrt (MW 70,71ms, SD 26,60ms) auf einem vergleichbaren Niveau liegen. Die SDNN der Interaktionsfahrt ist hingegen weniger angestiegen und liegt im Mittel bei 64,11ms bei einer Standardabweichung von 27,79ms.

Die nächste halbe Stunde Fahrtzeit ist bei Beifahrerfahrt und Interaktionsfahrt durch einen stetigen Anstieg gekennzeichnet. Bei der Alleinfahrt hingegen steigt und fällt die SDNN im Wechsel über die Zeit. Im nächsten Vergleichsintervall nach 1,5 Stunden Fahrtzeit liegt die SDNN der Alleinfahrt (MW 67,40ms, SD 26,64ms) nach einer erneuten Schwankung unter der SDNN der Interaktionsfahrt (MW 71,07ms, SD 27,45ms) und der Beifahrerfahrt (MW 72,53ms, SD 29,67ms).

In den anschließenden drei Intervallen kommt es zu deutlich gegensätzlichen Entwicklungen von Beifahrerfahrt im Gegensatz zu Alleinfahrt und Interaktionsfahrt, da die SDNN auf der Beifahrerfahrt in

Intervall 13 ein neues globales Maximum (MW 81,26ms, SD 30,86ms) erreicht. Im gleichen Intervall fallen Interaktionsfahrt (MW 72,99ms, SD 25,48ms) und Alleinfahrt (MW 74,37ms, SD 31,06ms) auf ein lokales Minimum ab.

Im letzten Vergleichsintervall (Intervall 15) sind die Werte dann wieder aneinander angenähert, jedoch liegt die SDNN der Beifahrerfahrt weiterhin am höchsten (MW 77,54ms, SD 26,77ms) vor der Alleinfahrt (MW 74,37ms, SD 31,06ms) und der Interaktionsfahrt (MW 72,99ms, SD 25,48ms). Im letzten Intervall steigt die SDNN nur auf der Beifahrerfahrt noch einmal an.

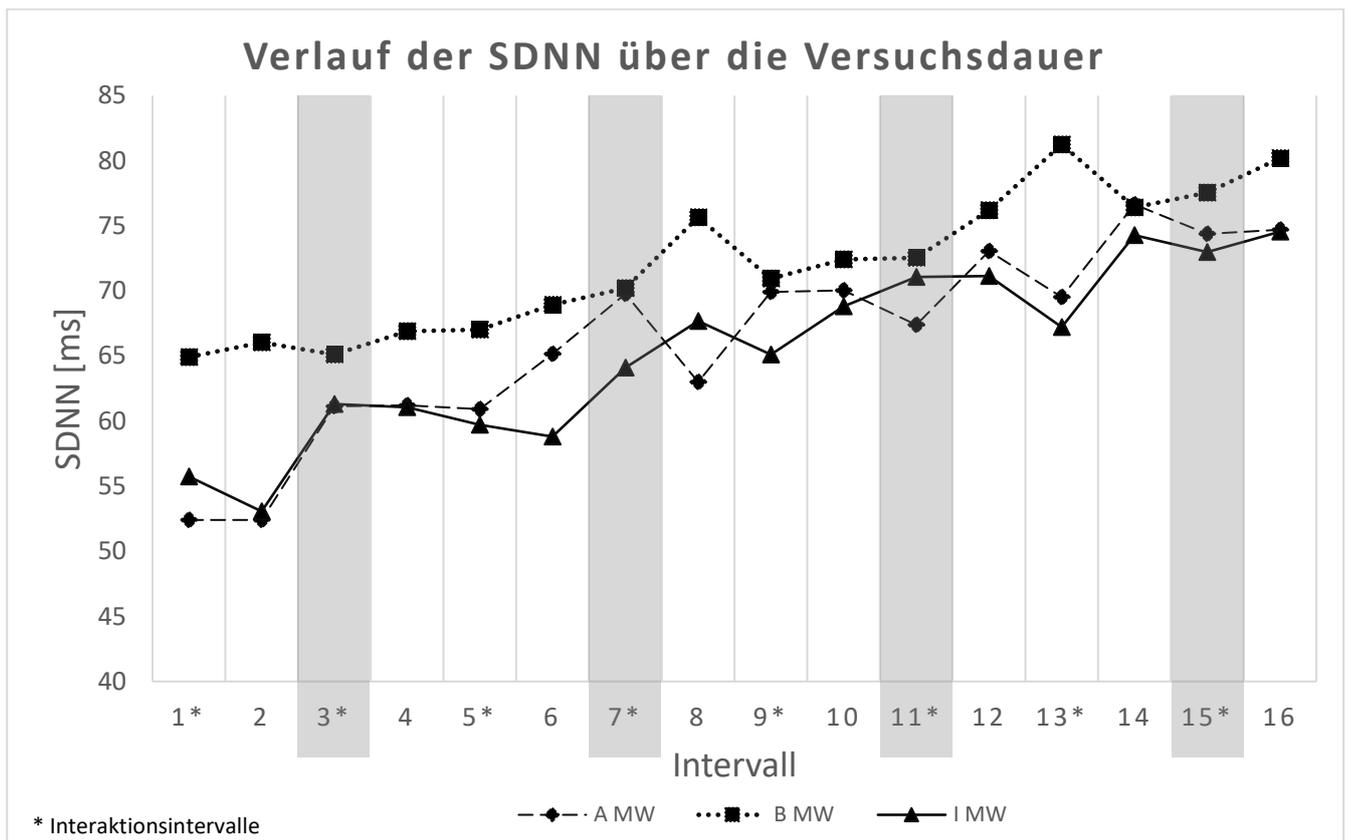


Abbildung 40: Deskriptive Ergebnisdarstellung des Verlaufs der SDNN über die Versuchsdauer (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Inferenzstatistik:

Beim Vergleich zwischen den Gesamtwerten ergeben sich keine signifikanten Unterschiede (siehe Tabelle 33). Auch bei der Intervallbetrachtung ergibt sich lediglich in Intervall 7 ein signifikanter Unterschied mit mittleren Effekt zwischen der Interaktionsfahrt und der Alleinfahrt (SDNN Intervall 7 A-I: $Z(29)=-2,40$; $p=0,02$; $r=0,44$). Hier liegt die SDNN bei der Alleinfahrt bei 69,78ms und bei der Interaktionsfahrt bei 64,11ms.

Tabelle 33: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Standardabweichung der R-Zackenabstände (SDNN)

Messgröße	Abschnitt	Alleinfahrt (A)		Beifahrerfahrt (B)		Interaktionsfahrt (I)		Stat. Test A - B	Effekt. A - B	Stat. Test A - I	Effekt. A - I	Stat. Test B - I	Effekt. B - I
		M	SD	M	SD	M	SD	n = 30		n = 30		n = 30	
SDNN [ms]	Gesamt	66,36	20,29	72,02	24,37	65,42	23,78	Z = -0,66 p = 0,51	---	Z = -0,79 p = 0,43	---	Z = -0,96 p = 0,34	---
	Intervall 3	61,14	22,70	65,10	20,21	61,31	27,45	Z = -0,94 p = 0,35	---	t = 0,04 p = 0,97	---	Z = -1,59 p = 0,11	---
	Intervall 7	69,78	21,25	70,21	26,60	64,11	27,79	Z = -0,87 p = 0,38	---	Z = -2,40** p = 0,02	r = 0,44	Z = -0,83 p = 0,41	---
	Intervall 11	67,40	26,64	72,53	29,66	71,07	27,45	Z = -0,07 p = 0,94	---	Z = -0,24 p = 0,81	---	t = -0,34 p = 0,73	---
	Intervall 15	74,37	31,06	77,54	26,77	72,99	25,48	Z = -0,07 p = 0,94	---	t = -0,32 p = 0,75	---	Z = -0,90 p = 0,37	---

*p<0.1 schwach signifikant, **p<0.05 signifikant, ***p< 0.01 hoch signifikant; Z: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t: t-Test für abhängige Stichproben

Zusammengefasst werden drei der fünf Hypothesen zum Vergleich Alleinfahrt zu Interaktionsfahrt verworfen, da insgesamt, sowie im dritten und elften Intervall keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden konnten. Lediglich die Testergebnisse zu Intervall 7 rechtfertigen eine Beibehaltung der Hypothese, da die SDNN der Interaktionsfahrt in Intervall 7 geringer ausfällt, als die der Alleinfahrt.

Bezüglich des Vergleiches der Interaktionsfahrt mit der Beifahrerfahrt, wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fahrten festgestellt, sodass alle Hypothesen zu diesem Vergleich beibehalten werden.

Tabelle 34: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für psycho-physiologische Müdigkeitsbewertung mittel SDNN (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%)

	Kenngröße	Hypothese	Test
A-I	SDNN Gesamt	Ges.I < Ges.A	=
	SDNN Intervall 3	3.I < 3.A	=
	SDNN Intervall 7	7.I < 7.A	<
	SDNN Intervall 11	11.I < 11.A	=
	SDNN Intervall 15	15.I = 15.A	=
B-I	SDNN Gesamt	Ges.I = Ges.B	=
	SDNN Intervall 3	3.I = 3.B	=
	SDNN Intervall 7	7.I = 7.B	=
	SDNN Intervall 11	11.I = 11.B	=
	SDNN Intervall 15	15.I = 15.B	=

Über Tabelle 34 wird schnell deutlich, dass für die SDNN zwischen den Fahrten kaum Unterschiede festgestellt werden konnten. Dies spricht in Kombination mit den anderen Ergebnissen dafür, dass die Messgröße nicht sensitiv genug reagiert hat und somit eher ungeeignet ist, die Forschungsfragen zu beantworten. Eine detailliertere Diskussion findet in Kapitel 7 statt.

6.2.5. Lidschlagfrequenz

Während der Versuchsdurchführung, die sich über einen Zeitraum von drei Monaten erstreckte, kam es zwischenzeitlich zu vermehrten Ausfällen des verwendeten Eyetracking Systems, weswegen von einigen wenigen Fahrten verschiedener Probanden keine Eyetracking-Daten vorliegen. In Folge der Ausfälle wurden die Versuche unterbrochen und das System in Reparatur gegeben.

Für Proband 3 und 5 fehlen die Lidschlussdaten der Interaktionsfahrt, für Proband 4 und 9 die Daten der Beifahrerfahrt und für Proband 28 die Lidschlussdaten der Alleinfahrt. Für Proband 20 liegen von keiner Fahrt Lidschlussdaten vor, da das Eyetracking System nicht mit der Kopfform des Probanden kompatibel war.

Die Lidschlussfrequenz wurde in Form des Anstiegs bezogen auf das erste Intervall ausgewertet, da die Kommunikation die Lidschlussfrequenz in hohem Maße beeinflusst und so je nach Kommunikationsform von Beginn an auf einem unterschiedlichen Niveau verläuft. Die Analyse der Steigung bezogen auf das erste Intervall mit Kommunikation/Interaktion berücksichtigt, dass unterschiedliche Grundniveaus vorliegen. Eine höhere Steigung der Lidschlussfrequenz über die Versuchszeit signalisiert ein höheres Müdigkeitsniveau.

Die Steigung der Lidschlussfrequenz beträgt auf der Alleinfahrt im Mittelwert 20,35% (SD 32,24%) der Median liegt bei 12,5%. Auf der Beifahrerfahrt liegt der Mittelwert bei 12,49% (SD 27,22%) und der Median bei 4,65% und auf der Interaktionsfahrt beträgt der Mittelwert nur 1,98% (SD 26,51%), der Median beträgt auf der Interaktionsfahrt -2,65%.

Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 41 in Boxplots dargestellt. Die unterschiedlichen Verläufe der drei Szenarien für die Änderung der Lidschlussfrequenz (LSF) sind in Abbildung 42 dargestellt. Hervorgehoben durch eine graue Unterlegung sind die für die Inferenzstatistik relevanten Intervalle 3, 7, 11 und 15. In allen Intervallen, die auf der Abszisse mit einem „ * “ gekennzeichnet sind, fand während der Interaktionsfahrt eine Interaktionssession statt (die detaillierten Intervallwerte sind in „Anhang 21: Änderung der Lidschlussfrequenz über alle Intervalle“ tabellarisch aufgeführt).

Schon im zweiten Intervall, nach einer ungefähren Fahrzeit von 25 Minuten, unterscheiden sich die Verläufe der LSF. Während die LSF bei der Beifahrerfahrt um 7,77% (SD 17,22%) und Alleinfahrt um 5,24% (SD 25,04%) ansteigt, fällt sie bei der Interaktionsfahrt um 3,61% (SD 26,90%). Dieser Trend setzt sich über die weitere Fahrzeit fort, sodass im ersten Vergleichsintervall 3 die Lidschlussfrequenz bei der Alleinfahrt um 7,53% (SD 25,04%) und bei der Beifahrerfahrt um 5,80% (SD 17,22%) gestiegen ist und bei der Interaktionsfahrt um 9,19% (SD 17,85%) gefallen ist.

In den folgenden drei Intervallen liegt die LSF auf der Alleinfahrt auf über 30% Anstieg. Im Gegensatz dazu steigt sie bei der Beifahrerfahrt langsamer und um nur ungefähr die Hälfte des Wertes der Alleinfahrt an. Bei der Interaktionsfahrt steigt die LSF ebenfalls an und pendelt sich auf dem Ausgangsniveau von Intervall 1 ein.

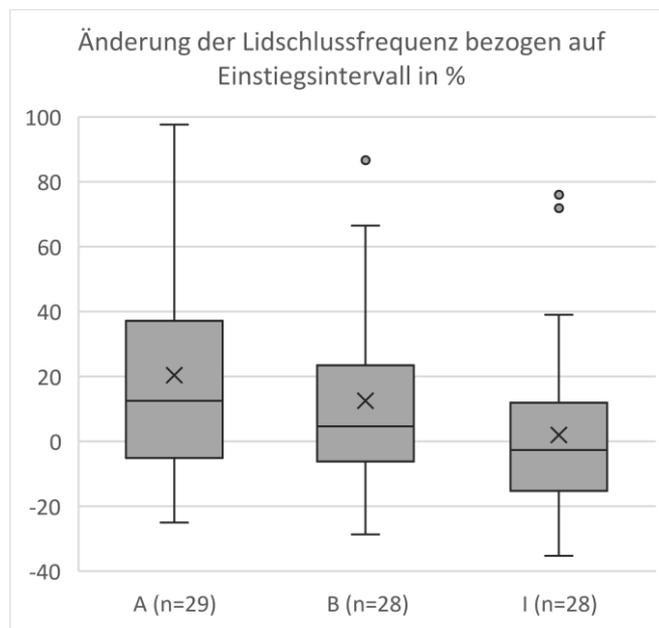


Abbildung 41: Deskriptive Ergebnisdarstellung der Änderung der Lidschlussfrequenz bezogen auf das erste Intervall (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Nach etwa einer Stunde Versuchsdauer, in Vergleichsintervall 7, bleibt die LSF auf der Alleinfahrt auf ihrem hohen Niveau mit einer Steigerung gegenüber Intervall 1 von 32,76% (SD 44,19%). Die Werte der Interaktionsfahrt (MW 10,32%, SD 30,13%) haben sich zu diesem Zeitpunkt denen der Beifahrerfahrt angenähert (MW 14,37%, SD 31,35%). Im weiteren Verlauf sinkt die LSF auf der Alleinfahrt erstmalig leicht, bevor sie in Intervall 10 auf ein neues Maximum ansteigt (MW 33,09%, SD 38,58%). Im gleichen Zeitraum bleibt die LSF bei der Beifahrerfahrt auf einem ähnlichen Niveau. Auf der Interaktionsfahrt fällt die LSF hingegen wieder stetig um insgesamt 8% ab, sodass sie erneut ihr Ausgangsniveau annähernd erreicht.

Nach ungefähr 1,5 Stunden Fahrtzeit (Vergleichsintervall 11) sind die Unterschiede zwischen den Änderungen der LSF nahezu äquidistant. Die LSF der Alleinfahrt ist leicht gesunken (MW 24,26%, SD 32,23%), die der Beifahrerfahrt liegt auf dem gleichen Niveau (MW 12,75%, SD 32,96%) wie nach einer Stunde Fahrtzeit und die LSF der Interaktionsfahrt hat das Ausgangsniveau von Intervall 1 wieder erreicht (MW -0,89%, SD 26,17%). Im Anschluss nähern sich die Änderungen der LSF von Alleinfahrt und Beifahrerfahrt stark aneinander an, indem die LSF der Alleinfahrt erneut abfällt und die der Beifahrerfahrt das Niveau mit einer Ausnahme in Intervall 13 hält. Die LSF auf der Interaktionsfahrt steigt hingegen in Intervall 12 kurz an und sinkt im Interaktionsintervall 13 erneut unter das Ausgangsniveau.

Im letzten Vergleichsintervall (Intervall 15), nach etwa 2 Stunden Fahrtzeit liegt der Anstieg der LSF der Beifahrerfahrt (MW 23,16%, SD 44,84%) erstmals über dem Anstieg der LSF auf der Alleinfahrt (MW 17,22%, SD 46,72%). Der Anstieg der LSF gegenüber Intervall 1 bleibt bei der Interaktionsfahrt

auf einem insgesamt niedrigen Niveau mit einem Mittelwert von 4,76% und einer Standardabweichung von 21,54%. Im letzten Auswertungsintervall 16 bleiben diese Niveaus erhalten, auch wenn die Änderung der LSF der Alleinfahrt erneut am höchsten ausfällt.

Insgesamt lässt sich kein Trend auf der Interaktionsfahrt feststellen, welcher die Änderung der LSF während den Interaktionen von denen in Intervallen ohne Interaktionen unterscheiden würde.

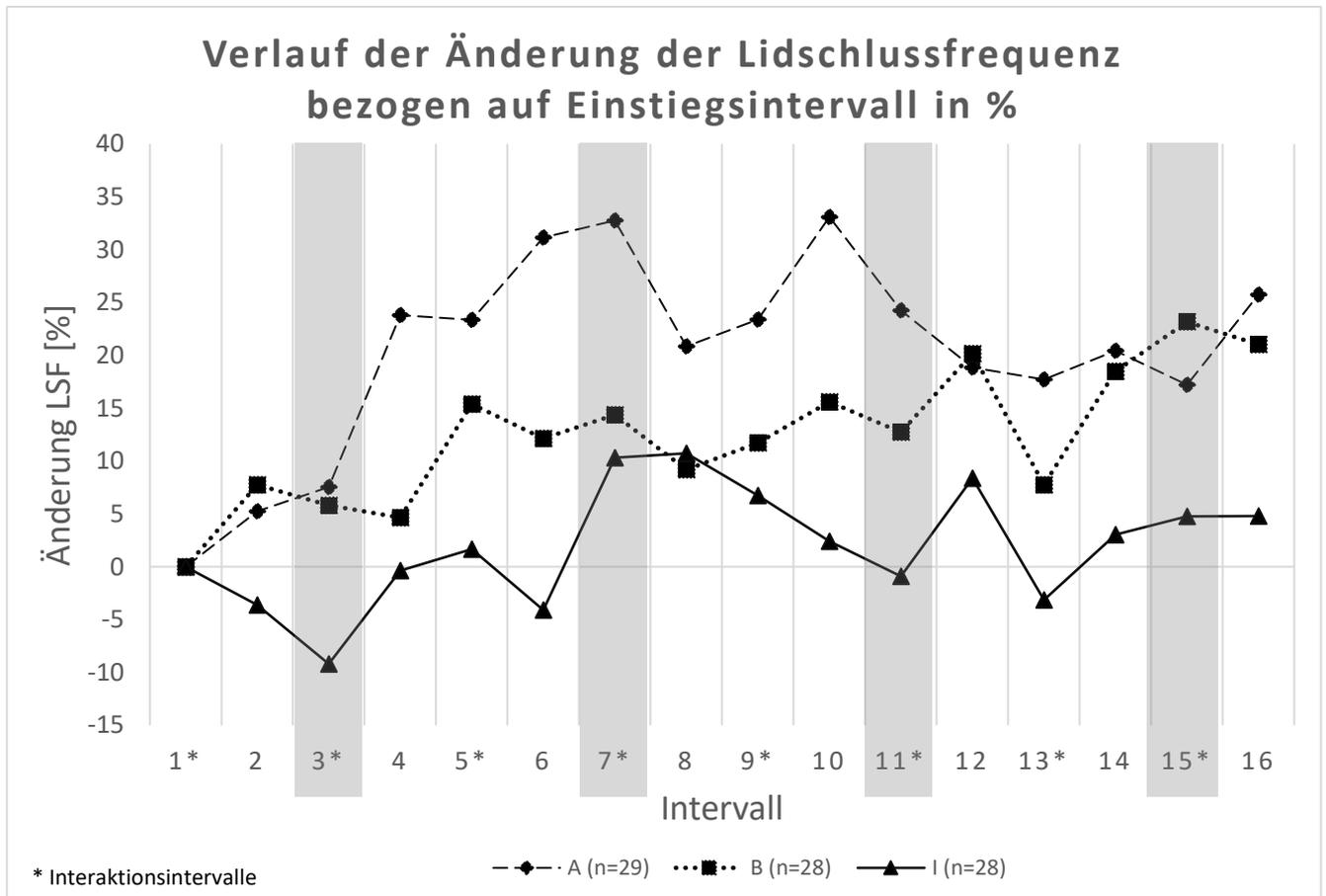


Abbildung 42: Deskriptive Verlaufsdarstellung der Änderung der Lidschlussfrequenz bezogen auf das erste Intervall (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt; in den mit * markierte Intervallen fand die technische Interaktion statt)

Inferenzstatistik:

Die Ergebnisse der Inferenzstatistik (siehe Tabelle 35) geben im Folgenden wieder, in wie weit die zuvor beschriebenen Unterschiede insgesamt und in den Vergleichsintervallen statistisch signifikant sind.

Signifikant mit mittlerem Effekt sind die Unterschiede zwischen der Interaktionsfahrt und der Alleinfahrt (LSF Gesamt, A-I: $t(26) = -2,95$; $p < 0,01$; $d = 0,57$) und mit schwacher Signifikanz und leichtem Effekt zwischen der Beifahrerfahrt und der Interaktionsfahrt (LSF Gesamt B-I: $t(25) = -1,83$; $p = 0,08$; $d = 0,36$).

In Vergleichsintervall 3 sind die Unterschiede zwischen der Interaktionsfahrt und der Alleinfahrt hoch signifikant mit starken Effekten (LSF Intervall 3, A-I: $Z(26) = -2,81$; $p < 0,01$; $d = 0,58$). Zu beachten ist, dass die Signifikanzen mit unterschiedlichen Teststatistiken berechnet wurden und dass die hohe Signifikanz beim Vergleich Interaktionsfahrt Beifahrerfahrt mit dem weniger empfindlichen Wilcoxon-Test berechnet wurde.

In Intervall 7 sind nur die Unterschiede zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt signifikant, mit mittleren Effekten, unterschiedlich (LSF Intervall 7, A-I: $t(26) = -2,6$; $p = 0,02$; $d = 0,50$). Genauso stellt es sich in Intervall 11 dar, indem erneut nur die Unterschiede zwischen der Interaktionsfahrt und der Alleinfahrt mit hoher Signifikanz und starken Effekten ausfallen.

Im letzten Intervall 15 treten hingegen keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen dem Anstieg der LSF der verschiedenen Fahrten auf.

Tabelle 35: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Änderung der Lidschlussfrequenz

Messgröße	Abschnitt	Alleinfahrt (A)		Beifahrerfahrt (B)		Interaktionsfahrt (I)		Stat. Test A - B	Effekt. A - B	Stat. Test A - I	Effekt. A - I	Stat. Test B - I	Effekt. B - I
		M	SD	M	SD	M	SD	n = 27		n = 27		n = 26	
Steigung LSF [%]	Gesamt	20,35	32,24	12,49	27,22	1,98	26,51	$t = -1,20$ $p = 0,28$	---	$t = -2,95^{***}$ $p < 0,01$	$d = 0,57$	$t = -1,83^*$ $p = 0,08$	$d = 0,36$
	Intervall 3	7,53	25,04	5,80	17,22	-9,19	17,85	$t = -0,51$ $p = 0,61$	---	$Z = -2,81^{***}$ $p < 0,01$	$r = 0,54$	$t = -4,00^{***}$ $p < 0,01$	$d = 0,78$
	Intervall 7	32,76	44,18	14,37	31,35	10,32	30,13	$Z = -0,91$ $p = 0,36$	---	$t = -2,60^{**}$ $p = 0,02$	$d = 0,50$	$Z = -1,41$ $p = 0,16$	---
	Intervall 11	24,26	32,23	12,75	32,96	-0,89	26,17	$t = -1,29$ $p = 0,21$	---	$t = -4,37^{***}$ $p < 0,01$	$d = 0,84$	$t = -1,28$ $p = 0,21$	---
	Intervall 15	17,22	46,72	23,16	44,84	4,76	21,54	$t = 0,67$ $p = 0,51$	---	$t = -1,22$ $p = 0,23$	---	$t = 0,67$ $p = 0,51$	---

* $p < 0.1$ schwach signifikant, ** $p < 0.05$ signifikant, *** $p < 0.01$ hoch signifikant; Z: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t: t-Test für abhängige Stichproben

Zusammengefasst werden alle Hypothesen bezüglich des Vergleiches zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt beibehalten (siehe Tabelle 36). Der Anstieg der LSF lag insgesamt und in allen Vergleichsintervallen signifikant unterhalb des Anstieges der LSF während der Alleinfahrt.

Bezüglich des Gesamtvergleichs zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt kann keine Entscheidung hinsichtlich der Beibehaltung oder Verwerfung der Hypothese getroffen werden, da zwar Unterschiede festzustellen sind, diese aber nur schwache Signifikanz aufweisen. Die Hypothese zu Intervall 3 wird verworfen, da sich die Mittelwerte des Anstieges der LSF auf Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt signifikant unterscheiden. Allerdings ist es der Anstieg der Interaktionsfahrt der geringer ausfällt. Die Hypothesen zu den Intervallen 7, 11 und 15 werden beibehalten, da keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden konnten.

Tabelle 36: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für psycho-physiologische Müdigkeitsbewertung mittel LSF (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%; die orange hinterlegte Zelle zeigt an, dass ein Signifikanzniveau von nur 10% vorliegt)

	Kenngröße	Hypothese	Test
A-I	Anstieg LSF Gesamt	Ges.I < Ges.A	<
	Anstieg LSF Intervall 3	3.I < 3.A	<
	Anstieg LSF Intervall 7	7.I < 7.A	<
	Anstieg LSF Intervall 11	11.I < 11.A	<
	Anstieg LSF Intervall 15	15.I = 15.A	=
B-I	Anstieg LSF Gesamt	Ges.I = Ges.B	<
	Anstieg LSF Intervall 3	3.I = 3.B	<
	Anstieg LSF Intervall 7	7.I = 7.B	=
	Anstieg LSF Intervall 11	11.I = 11.B	=
	Anstieg LSF Intervall 15	15.I = 15.B	=

6.3. Vigilanz

6.3.1. Verkehrsschilderkennung

Maximal konnten 3 Schilder erkannt werden und somit 3 Punkte erreicht werden. Zwischen den Signalstufen der Schilder (siehe Abschnitt 5.3.3) wurde bei der Auswertung nicht unterschieden. Von den falsch platzierten Schildern wurden auf der Alleinfahrt 2,42 von 3 Schildern (SD 0,76) erkannt, auf der Beifahrerfahrt wurden von den Probanden hingegen nur 2,03 von 3 Schildern (SD 0,98) im arithmetischen Mittel erkannt. Auf der Interaktionsfahrt wurden mit 2,84 von 3 Schildern die meisten Schilder erkannt und auch die Standardabweichung liegt mit 0,37 Schildern auf dieser Fahrt am niedrigsten (siehe Abbildung 43). Während auf der Beifahrerfahrt vier Probanden keines der Schilder korrekt identifiziert haben, haben auf der Interaktionsfahrt alle Probanden mindestens zwei Schilder richtig erkannt. Auf der Alleinfahrt liegt das Minimum bei einem Schild.

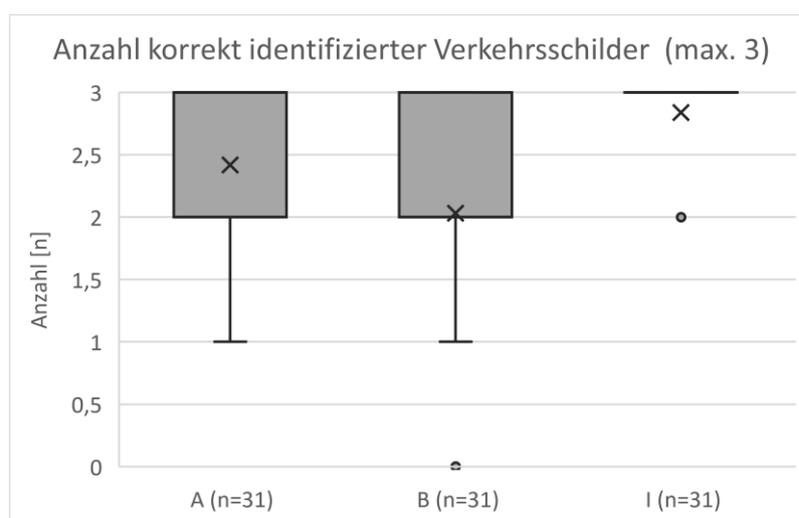


Abbildung 43: Deskriptive Ergebnisdarstellung der Änderung der korrekt identifizierten Verkehrsschilder im direkten Anschluss an die Versuchsfahrten (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Inferenzstatistik:

Tabelle 37 fasst die im Folgenden beschriebenen Ergebnisse der statistischen Vergleiche zusammen. Die Unterschiede sind signifikant mit mittlerem Effekt zwischen der Alleinfahrt und der Interaktionsfahrt (Schilder Gesamt, A-I: $Z(30) = -2,50$; $p = 0,01$; $r = 0,45$), wobei auf der Interaktionsfahrt signifikant mehr Schilder erkannt wurden. Ebenso mit hoher Signifikanz und starken Effekten liegt die Schilderkennungsrate auf der Interaktionsfahrt über der der Beifahrerfahrt (Schilder Gesamt, B-I: $Z(30) = -3,62$; $p < 0,01$; $r = 0,65$).

Tabelle 37: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Schilderkennungsrate

Messgröße	Abschnitt	Allein-fahrt (A)		Beifahrer-fahrt (B)		Interaktions-fahrt (I)		Stat. Test A - B	Effekt. A - B	Stat. Test A - I	Effekt. A - I	Stat. Test B - I	Effekt. B - I
		M	SD	M	SD	M	SD	n = 31		n = 31		n = 31	
Schilder-Anzahl [n]	Gesamt	2,42	0,76	2,03	0,98	2,84	0,37	$Z = -1,59$ $p = 0,12$	---	$Z = -2,50^{**}$ $p = 0,01$	$r = 0,45$	$Z = -3,62^{***}$ $p < 0,01$	$r = 0,65$

* $p < 0,1$ schwach signifikant, ** $p < 0,05$ signifikant, *** $p < 0,01$ hoch signifikant; Z: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t: t-Test für abhängige Stichproben

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die Schildererkennungsrate auf der Interaktionsfahrt am höchsten liegt und somit für beide Vergleiche zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt sowie zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt die Hypothesen beibehalten werden (siehe Tabelle 38)

Tabelle 38: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse zum Vigilanztest „Schildererkenkung“ (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%)

	Kenngröße	Hypothese	Test
A-I	Schildererkenkung Ges.	Ges.I > Ges.A	>
B-I	Schildererkenkung Ges.	Ges.I > Ges.B	>

6.3.2. Gefahrensituation Wildwechsel

Bei der Durchführung der Fahrversuche kam es bei einer Fahrt kurz vor Ende des Fahrversuchs zu einem Systemabsturz. Aus diesem Grund liegen für Proband 9 für die Alleinfahrt keine Daten für den Wildwechsel vor. Bezüglich der Berechnung der gemittelten Reaktionszeit hat dies keinen Einfluss genommen, da die aufgezeichneten Daten der anderen Fahrscenarien in keiner Form Ausreißer dargestellt haben. Bezüglich der Anzahl der Kollisionen von Probanden mit dem Wild wurden allerdings die Daten von Proband 9 aus der Auswertung ausgeschlossen, da die absoluten Zahlen hier herangezogen werden und ein Vergleich aufgrund ungleicher Bedingungen andernfalls nicht möglich wäre. Es sei dennoch erwähnt, dass Proband 9 keine Kollisionen mit dem Wild verursacht hat, insoweit ist der Ausschluss folglich trivial.

Die Reaktionszeit auf das Wildschwein, welches den befahrenen Fahrstreifen im Abstand von 120 Metern voraus zum Fahrzeug betrat, liegt bei der Alleinfahrt bei 1945ms (SD 642 ms). Bei der Beifahrerfahrt beträgt die Reaktionszeit im Mittel hingegen 1822ms (SD 669ms) und liegt damit am niedrigsten. Bei

der Interaktionsfahrt liegt die Reaktionszeit im Mittel bei 2035ms (SD 567) und liegt damit in diesem Szenario am höchsten.

Zu Kollisionen mit dem Wild kam es auf der Alleinfahrt in 9 der 31 Fälle (Abbildung 44), was einem Anteil von 30% entspricht (siehe Tabelle 39). Auf der Beifahrerfahrt sind diese Werte identisch, denn auch auf dieser Fahrt kam es zu 9 Kollisionen infolge des Wildwechsels. Auf der Interaktionsfahrt wiederum kam es zu 11 Kollisionen mit dem auf die Straße laufenden Wildschwein, was einem Anteil von 37% entspricht.

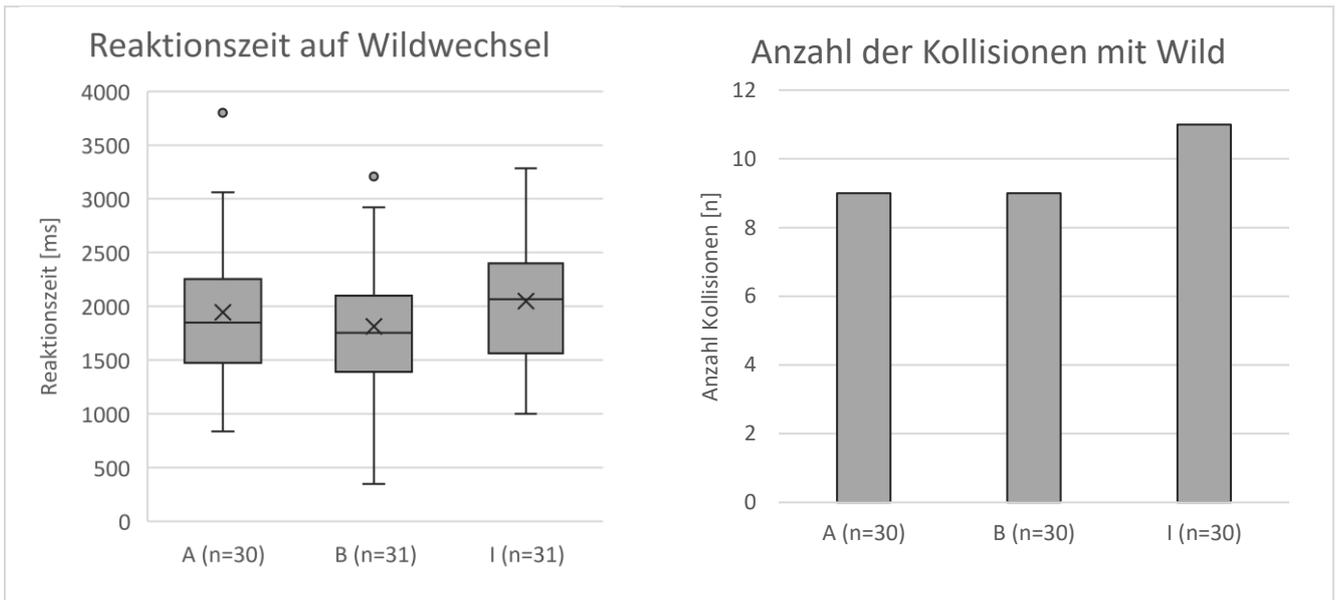


Abbildung 44: Deskriptive Ergebnisdarstellung der Reaktionszeiten auf den Wildwechsel (links) und die aufsummierte Anzahl an Kollisionen über alle Probanden (rechts; A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Inferenzstatistik:

Die durchgeführten, statistischen Vergleiche der Reaktionszeiten sind sowohl für den Vergleich zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt, also auch für den Vergleich zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt statistisch nicht signifikant (siehe Tabelle 39).

Auch bezüglich der Unterschiede zwischen den Anzahlen der Kollisionen kann zwischen den Versuchsfahrten kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Tabelle 39: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Reaktionszeit und Kollisionsraten

Messgröße	Abschnitt	Allein-fahrt (A)		Beifahrer-fahrt (B)		Interaktions-fahrt (I)		Stat. Test A - B	Effekt. A - B	Stat. Test A - I	Effekt. A - I	Stat. Test B - I	Effekt. B - I
		M	SD	M	SD	M	SD						
Reaktionszeit [ms]	Intervall 17	1.945	642	1.822	669	2.035	567	t = -0,73 p = 0,47	---	t = 0,68 p = 0,50	---	t = 1,46 p = 0,15	---
		M	SD	M	SD	M	SD	n = 30		n = 30		n = 30	
Kollisionen [n]	Intervall 17	0,30	0,47	0,30	0,47	0,37	0,49	t = 0,00 p = 1,00	---	t = 0,57 p = 0,57	---	t = 0,63 p = 0,54	---
		M	SD	M	SD	M	SD	n = 30		n = 30		n = 30	

*p<0.1 schwach signifikant, **p<0.05 signifikant, ***p< 0.01 hoch signifikant; Z: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t: t-Test für abhängige Stichproben

Zusammengefasst können somit alle aufgestellten Hypothesen beibehalten werden, da die deskriptiv beschriebenen, höheren Reaktionszeiten und Kollisionszahlen auf der Interaktionsfahrt nicht signifikant höher ausfallen als auf den übrigen Fahrten (siehe Tabelle 40).

Tabelle 40: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse zum Vigilanztest „Wildwechsel“ (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%)

	Kenngröße	Hypothese	Test
A-I	Reaktionszeit	Ges.I = Ges.A	=
	Kollisionen	Ges.I = Ges.A	=
B-I	Reaktionszeit	Ges.I = Ges.B	=
	Kollisionen	Ges.I = Ges.B	=

6.4. Fahrleistung

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Fahrleistungsdaten präsentiert. Die Struktur der Ergebnisdarstellung aus dem letzten Unterkapitel wird dazu beibehalten, sodass zunächst deskriptiv die Entwicklung der Kenngrößen beschrieben wird, bevor auf die Inferenzstatistik eingegangen wird.

6.4.1. Longitudinale Fahrzeugführung

Die Qualität der longitudinalen Fahrzeugführung wird in dieser Arbeit durch die Einhaltung der Sollgeschwindigkeit beschrieben, somit ist die relevante Kenngröße die gefahrene, mittlere Geschwindigkeit in Zonen mit einer Sollgeschwindigkeit von 100 km/h. Diese mittlere Geschwindigkeit liegt auf der Interaktionsfahrt mit 101,76 km/h und einer Standardabweichung von 3,05km/h am niedrigsten (siehe Abbildung 45). Die höchste durchschnittliche Geschwindigkeit wurde dagegen auf der Beifahrerfahrt erreicht, mit einem Wert von 104,30 km/h und einer Standardabweichung von 3,79 km/h. Dazwischen liegt die Alleinfahrt mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit (MS) von 103,61 km/h bei einer Standardabweichung von 4,45km/h.

Die unterschiedlichen Verläufe der drei Szenarien für die durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit sind in Abbildung 46 dargestellt. Hervorgehoben durch eine graue Unterlegung sind die für die Inferenzstatistik relevanten Intervalle 3, 7, 11 und 15. In allen Intervallen, die auf der Abszisse mit einem „*“ gekennzeichnet sind, fand während der Interaktionsfahrt eine Interaktionssession statt (die detaillierten Intervallwerte sind in „Anhang 22: Durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit über alle Intervalle“ tabellarisch aufgeführt). Intervall 8 ist aus der Auswertung ausgeschlossen, da in diesem Intervall ausschließlich 120 km/h-Zonen vorliegen. Ebenso ist auf der Interaktionsfahrt das Intervall 13 ausgeschlossen, da in diesem Intervall ein Fahrspiel zur Abstandshaltung die gefahrene Geschwindigkeit in erheblichem Maße verringert hat.

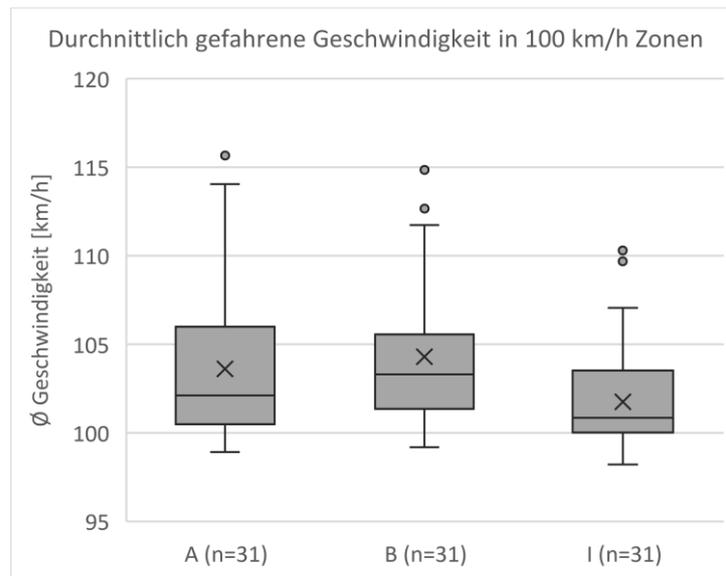


Abbildung 45: Deskriptive Ergebnisdarstellung der durchschnittlichen, über die Versuchsdauer gefahrenen Geschwindigkeit (in 100km/h Zonen; A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Bereits zu Beginn der Versuche liegt die MS auf der Interaktionsfahrt am niedrigsten mit einem Wert von 101,2 m/h (SD 3,4km/h). Die mittlere gefahrene Geschwindigkeit der Alleinfahrt (MW 103,5km/h, SD 4,6km/h) und der Beifahrerfahrt liegen in diesem Intervall höher.

In Intervall 2 sind auf der Beifahrerfahrt (MW 105,4km/h, SD 5,6km/h) und der Interaktionsfahrt (MW 103,2km/h, SD 4,8km/h) jeweils sprunghafte Anstiege der MS zu verzeichnen, die sich bis zum ersten Vergleichsintervall 3 aber wieder egalisieren. In der folgenden halben Versuchsstunde bleibt die gefahrene Geschwindigkeit bei der Alleinfahrt und der Beifahrerfahrt konstant. Auf der Interaktionsfahrt sinkt sie dagegen leicht. Nach etwa einer Stunde Fahrzeit liegt die MS auf der Alleinfahrt mit einem Wert von 103,5km/h (SD 5,0km/h) am höchsten. Darauf folgt die Beifahrerfahrt mit einem Wert von 102,8 km/h bei einer Standardabweichung von 3,9km/h. Die durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit der Interaktionsfahrt liegt auch in diesem Intervall am niedrigsten mit einem Wert von 101,7 km/h und einer Standardabweichung über die Probanden von 2,4 km/h.

Bis zum nächsten Vergleichsintervall 11 (etwa 1,5 Stunden Fahrzeit) legt die MS auf allen Fahrten zunächst nur leicht zu, bevor sie nach Intervall 10 auf der Alleinfahrt und der Beifahrerfahrt sprunghaft ansteigt. Somit liegt der Wert der gemittelten gefahrenen Geschwindigkeit bei der Beifahrerfahrt mit 106,8 km/h deutlich am höchsten. Die hohe Standardabweichung von 7,4 km/h zeigt darüber hinaus, dass einige Fahrer noch deutlich über diesem Wert liegen. Auf der Alleinfahrt liegt der Wert bei 104,9 km/h (SD 5,9km/h) und damit am zweit höchsten. Den niedrigsten Wert nimmt die Interaktionsfahrt ein, denn auf dieser Fahrt liegt die durchschnittliche Geschwindigkeit bei 102,7km/h (SD 4,2).

Auf dem letzten Viertel der Fahrten verringert sich in allen Szenarien die gefahrene Geschwindigkeit. Am deutlichsten sind diese Rückgänge auf der Beifahrerfahrt. Bis zum Vergleichsintervall 15 sinkt der Wert auf 104,2km/h (SD 5,9km/h) ab. Auf einen ähnlichen Wert fällt der Wert

(MW 104,0km/h; SD 6,0km/h) der Alleinfahrt. Am niedrigsten ist erneut die gefahrene Geschwindigkeit auf der Interaktionsfahrt, deren Wert bei 102,3km/h (SD 2,9) liegt. Die Änderungen zum letzten Intervall 16 sind dagegen zu vernachlässigen.

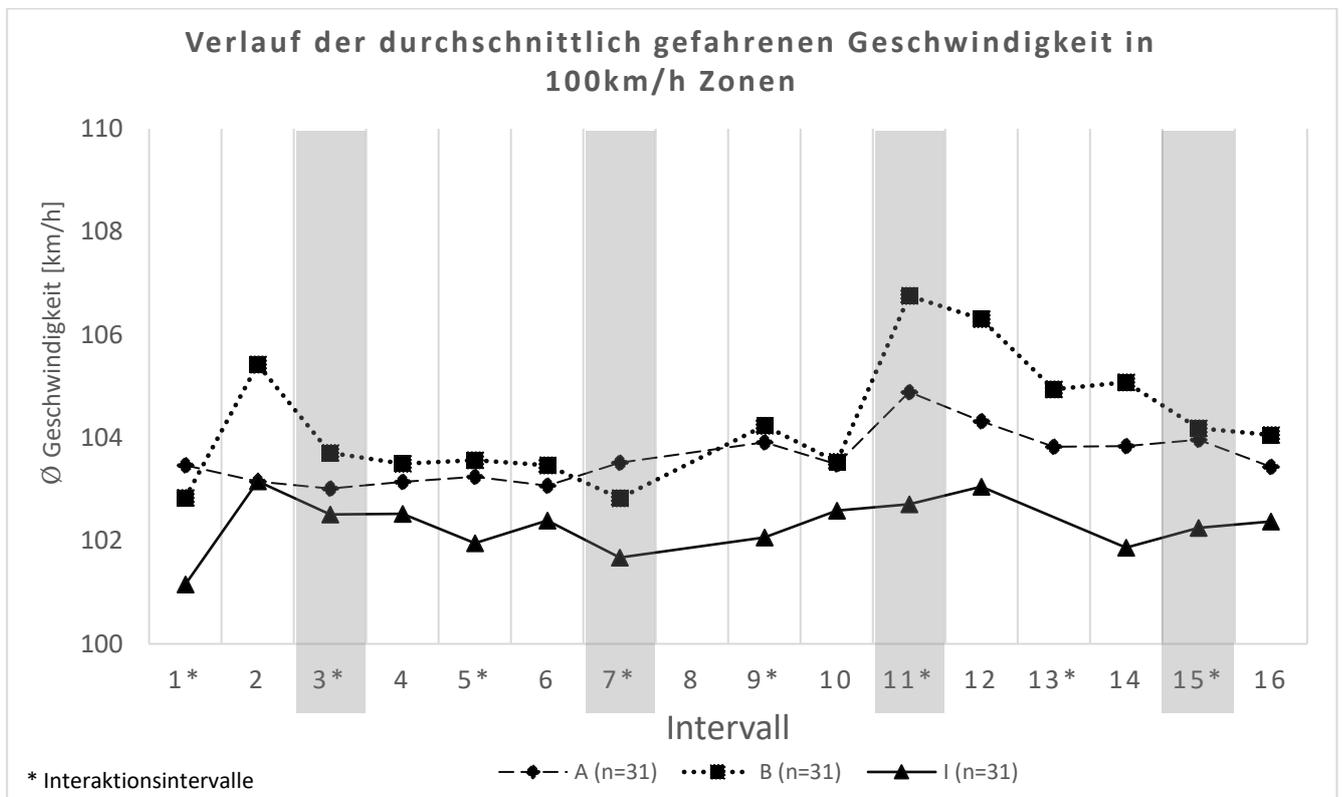


Abbildung 46: Deskriptive Verlaufsdarstellung der in 100km/h Zonen durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt; in den mit * markierte Intervallen fand die technische Interaktion statt)

Inferenzstatistik:

In den Vergleichsintervallen sind die Unterschiede zwischen Alleinfahrt und Beifahrerfahrt nur in Intervall 3 schwach signifikant mit schwachen Effekten (MS Intervall 3, A-B: $t(30)=1,80$; $p=0,08$; $d=0,32$).

Die Unterschiede in den Vergleichsintervallen zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt sind erst ab Intervall 7 hoch signifikant unterschiedlich mit mittleren Effekten (MS Intervall 7, A-I: $t(30)=-2,78$; $p<0,01$; $d=0,50$). Dieser Unterschied bleibt über die beiden weiteren Vergleichsintervalle signifikant mit mittlere Effekten bestehen (MS Intervall 11, A-I: $Z(30)=-2,33$; $p=0,02$; $r=0,42$; MS Intervall 15, A-I: $Z(30)=-2,05$; $p=0,04$; $r=0,37$).

Der Vergleich zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt ist hingegen nicht nur insgesamt, sondern auch in allen Vergleichsintervallen signifikant. In Intervall 3 ist der Unterschied der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit hoch signifikant mit starken Effekten (MS Intervall 3, B-I: $Z(30)=-2,82$; $p<0,01$; $r=0,51$), auf Intervall 7 ist der Unterschied signifikant mit mittleren Effekten (MS Intervall 7, B-I: $t(30)=-2,42$; $p=0,02$; $d=0,44$), auf Intervall 11 ist er erneut hoch signifikant mit starken Effekten

(MS Intervall 11, B-I: $Z(30)=-2,98$; $p<0,01$; $r=0,53$) und in Intervall 15 ist der Unterschied nur noch schwach signifikant mit mittleren Effekten (MS Intervall 15, B-I: $Z(30)=-1,65$; $p=0,10$; $r=0,30$).

Tabelle 41 fasst die Ergebnisse der statistischen Analyse der Vergleichsintervalle zusammen. Für den Gesamtvergleich der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit sind alle drei Vergleiche (A-B, A-I und B-I) statistisch signifikant. Der Unterschied zwischen Alleinfahrt und Beifahrerfahrt ist signifikant mit mittleren Effekten (MS Gesamt, A-B: $Z(30)=-2,24$; $p=0,03$; $r=0,40$). Der Unterschied zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt ist hoch signifikant mit starken Effekten (MS Gesamt, A-I: $Z(30)=-4,50$; $p<0,01$; $r=0,81$). Ebenso hoch signifikant mit starken Effekten ist auch der Unterschied zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt (MS Gesamt, A-B: $Z(30)=-4,51$; $p<0,01$; $r=0,81$).

In den Vergleichsintervallen sind die Unterschiede zwischen Alleinfahrt und Beifahrerfahrt nur in Intervall 3 schwach signifikant mit schwachen Effekten (MS Intervall 3, A-B: $t(30)=1,80$; $p=0,08$; $d=0,32$).

Die Unterschiede in den Vergleichsintervallen zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt sind erst ab Intervall 7 hoch signifikant unterschiedlich mit mittleren Effekten (MS Intervall 7, A-I: $t(30)=-2,78$; $p<0,01$; $d=0,50$). Dieser Unterschied bleibt über die beiden weiteren Vergleichsintervalle signifikant mit mittlere Effekten bestehen (MS Intervall 11, A-I: $Z(30)=-2,33$; $p=0,02$; $r=0,42$; MS Intervall 15, A-I: $Z(30)=-2,05$; $p=0,04$; $r=0,37$).

Der Vergleich zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt ist hingegen nicht nur insgesamt, sondern auch in allen Vergleichsintervallen signifikant. In Intervall 3 ist der Unterschied der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit hoch signifikant mit starken Effekten (MS Intervall 3, B-I: $Z(30)=-2,82$; $p<0,01$; $r=0,51$), auf Intervall 7 ist der Unterschied signifikant mit mittleren Effekten (MS Intervall 7, B-I: $t(30)=-2,42$; $p=0,02$; $d=0,44$), auf Intervall 11 ist er erneut hoch signifikant mit starken Effekten (MS Intervall 11, B-I: $Z(30)=-2,98$; $p<0,01$; $r=0,53$) und in Intervall 15 ist der Unterschied nur noch schwach signifikant mit mittleren Effekten (MS Intervall 15, B-I: $Z(30)=-1,65$; $p=0,10$; $r=0,30$).

Tabelle 41: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit [MS]

Messgröße	Abschnitt	Alleinfahrt (A)		Beifahrerfahrt (B)		Interaktionsfahrt (I)		Stat. Test A - B	Effekt. A - B	Stat. Test A - I	Effekt. A - I	Stat. Test B - I	Effekt. B - I
		M	SD	M	SD	M	SD	n = 31	r = 0,40	n = 31	r = 0,81	n = 31	r = 0,81
MS [km/h]	Gesamt	103,6	4,45	104,3	3,79	101,8	3,05	$Z = -2,24^{**}$ $p = 0,03$	$r = 0,40$	$Z = -4,50^{***}$ $p < 0,01$	$r = 0,81$	$Z = -4,51^{***}$ $p < 0,01$	$r = 0,81$
	Intervall 3	103,0	4,31	103,7	3,65	102,5	4,17	$t = 1,80^*$ $p = 0,08$	$d = 0,32$	$t = -1,21$ $p = 0,24$	---	$Z = -2,82^{***}$ $p < 0,01$	$r = 0,51$
	Intervall 7	103,5	4,96	102,8	3,89	101,7	2,37	$t = -1,20$ $p = 0,24$	---	$t = -2,78^{***}$ $p < 0,01$	$d = 0,50$	$t = -2,42^{**}$ $p = 0,02$	$d = 0,44$
	Intervall 11	104,9	5,92	106,8	7,43	102,7	4,20	$Z = -0,61$ $p = 0,54$	---	$Z = -2,33^{**}$ $p = 0,02$	$r = 0,42$	$Z = -2,98^{***}$ $p < 0,01$	$r = 0,53$
	Intervall 15	104,0	5,98	104,2	5,86	102,3	2,93	$Z = -0,71$ $p = 0,48$	---	$Z = -2,05^{**}$ $p = 0,04$	$r = 0,37$	$Z = -1,65^*$ $p = 0,10$	$r = 0,30$

* $p<0.1$ schwach signifikant, ** $p<0.05$ signifikant, *** $p<0.01$ hoch signifikant; Z: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t: t-Test für abhängige Stichproben

Die Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf die Hypothesen ist in Tabelle 42 gegeben. Es ist ersichtlich, dass die Hypothese zum Gesamtvergleich zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt beibehalten werden kann. Verworfen wird die Hypothese für diesen Vergleich für Intervall drei, da hier keine signifikanten Unterschiede festzustellen sind. Ebenso wird die Hypothese für diesen Vergleich für Intervall 15 verworfen, da in diesem Intervall entgegen der Erwartungen die mittlere gefahrene Geschwindigkeit der Interaktionsfahrt weiterhin signifikant unter der der Alleinfahrt liegt.

Für den Vergleich Interaktionsfahrt zu Beifahrerfahrt müssen nahezu alle Hypothesen verworfen werden, da es bei der Beifahrerfahrt zu signifikant höheren Geschwindigkeitsüberschreitungen kam. Lediglich in Intervall 15 ist dieser Unterschied nur schwach signifikant, sodass die Hypothese nicht abschließend bewertet werden kann.

Tabelle 42: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die mittlere gefahrene Geschwindigkeit (MS; die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%; die orange hinterlegte Zelle zeigt an, dass ein Signifikanzniveau von nur 10% vorliegt)

	Kenngröße	Hypothese	Test
A-I	MS Gesamt	Ges.I < Ges.A	<
	MS Intervall 3	3.I < 3.A	=
	MS Intervall 7	7.I < 7.A	<
	MS Intervall 11	11.I < 11.A	<
	MS Intervall 15	15.I = 15.A	<
B-I	MS Gesamt	Ges.I = Ges.B	<
	MS Intervall 3	3.I = 3.B	<
	MS Intervall 7	7.I = 7.B	<
	MS Intervall 11	11.I = 11.B	<
	MS Intervall 15	15.I = 15.B	<

6.4.2. Laterale Fahrzeugführung

Die laterale Fahrzeugführung wird in dieser Arbeit über die Standardabweichung der lateralen Position bewertet (SDLP). Im Zuge dieser Bewertung steht ein höherer Wert für eine schlechtere Fahrleistung. Die Standardabweichung der lateralen Position liegt bei der Alleinfahrt im Mittel über alle Probanden und die gesamte Fahrdauer bei 0,32m (siehe Abbildung 47) mit einer Standardabweichung der SDLP über die Probanden von 0,05m. Bei der Beifahrerfahrt liegt die SDLP mit einem Mittelwert von 0,28m (SD 0,04m) unter diesem Wert. Der Mittelwert der SDLP auf der Interaktionsfahrt liegt geringfügig über dem Wert der Beifahrerfahrt mit 0,29m bei einer Standardabweichung über die Probanden von 0,05m.

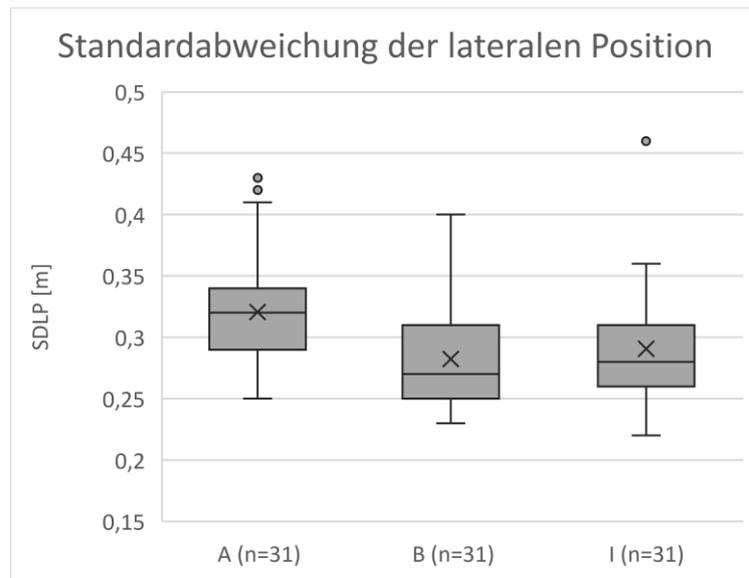


Abbildung 47: Deskriptive Ergebnisdarstellung der durchschnittlichen Standardabweichung der lateralen Position; A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Die unterschiedlichen Verläufe der drei Szenarien für die SDLP sind in Abbildung 48 dargestellt. Hervorgehoben durch eine graue Unterlegung sind die für die Inferenzstatistik relevanten Intervalle 3, 7, 11 und 15. In allen Intervallen, die auf der Abszisse mit einem „*“ gekennzeichnet sind, fand während der Interaktionsfahrt eine Interaktionssession statt (die detaillierten Intervallwerte sind in „Anhang 23: Standardabweichung der lateralen Position über alle Intervalle“ tabellarisch aufgeführt).

Die im ersten Intervall aufgezeichnete SDLP der Alleinfahrt liegt bei 0,31m (SD 0,05m). Sie liegt damit direkt zu Beginn leicht über den Werten der Beifahrerfahrt und Interaktionsfahrt, auf denen jeweils ein Mittelwert von 0,29m festzustellen ist (Beifahrerfahrt SD 0,05m; Interaktionsfahrt SD 0,06m). Im zweiten Intervall sinkt die SDLP auf allen Fahrten. Dieser Trend setzt sich für die Interaktionsfahrt und die Beifahrerfahrt bis ins erste Vergleichsintervall 3 fort. Nach einer halben Stunde Versuchsfahrt, liegt der Mittelwert der SDLP auf der Interaktionsfahrt am niedrigsten bei 0,22m (SD 0,06m). Der Mittelwert der Beifahrerfahrt liegt geringfügig darüber bei 0,23m (SD 0,06). Auf der Alleinfahrt ist der Mittelwert der SDLP hingegen bis zu Intervall 3 wieder angestiegen und liegt am höchsten bei 0,29m (SD 0,08m). Im Anschluss an das Vergleichsintervall steigt die SDLP bei allen drei Fahrten deutlich an und die SDLP der Interaktionsfahrt erreicht zeitweise in Intervall 4 den Wert der SDLP der Alleinfahrt.

In der nächsten halben Stunde hält die SDLP auf Alleinfahrt und Interaktionsfahrt das Niveau, wobei der Mittelwert der Alleinfahrt in etwa 0,05m über dem der Beifahrerfahrt liegt. Die SDLP auf der Interaktionsfahrt liegt mit Schwankungen in dieser Zeitspanne zwischen den Werten der übrigen Fahrten.

In Vergleichsintervall 7, nach einer Stunde Versuchsfahrt, liegt die SDLP der Alleinfahrt am höchsten bei einem Mittelwert von 0,32m (SD 0,08m). Darauf folgt die Interaktionsfahrt mit einem Mittelwert von 0,28m (SD 0,07m). Am niedrigsten liegt die SDLP auf der Beifahrerfahrt mit einem Mittelwert von 0,26m

(SD 0,07m). In den folgenden drei Intervallen schwankt die SDLP auf allen drei Fahrten stark. Die Anstiege und Rückgänge der drei Fahrten verlaufen nahezu parallel, sodass in Intervall 10 auf allen Fahrten ein neuer Maximalwert der jeweiligen Verläufe der SDLP erreicht wird. Dieser Wert liegt auf der Alleinfahrt bei 0,38m (SD 0,05m), auf der Beifahrerfahrt bei 0,34m (SD 0,05) und auf der Interaktionsfahrt bei 0,36m (SD 0,06).

Nach 1,5 Stunden Fahrzeit senken sich die hohen Werte der SDLP wieder. Im Vergleichsintervall 11 liegt die SDLP auf der Alleinfahrt weiterhin am höchsten (MW 0,31, DS 0,07). Die SDLP der Beifahrerfahrt liegt darunter mit einem Mittelwert von 0,27 (SD 0,06) und die SDLP der Interaktionsfahrt liegt nach Intervall 3 erneut auf einem Minimum von 0,22m (SD 0,09).

In den Intervallen 12-14 sinken die Werte von Alleinfahrt und Beifahrerfahrt leicht ab. Der SDLP-Wert der Interaktionsfahrt steigt in Intervall 12 fast auf das Niveau der Alleinfahrt und fällt in den folgenden zwei Intervallen auf das Niveau der Beifahrerfahrt.

Zum Ende der Fahrt steigt die SDLP dann auf allen drei Fahrten wieder an. Nach 2 Stunden Fahrzeit liegt der Mittelwert der SDLP der Alleinfahrt bei 0,34m (SD 0,07). Am zweithöchsten liegt die SDLP bei der Interaktionsfahrt mit einem Mittelwert von 0,31m (SD 0,08) und am niedrigsten ist die SDLP im letzten Vergleichsintervall auf der Beifahrerfahrt (MW 0,29m, SD 0,06m).

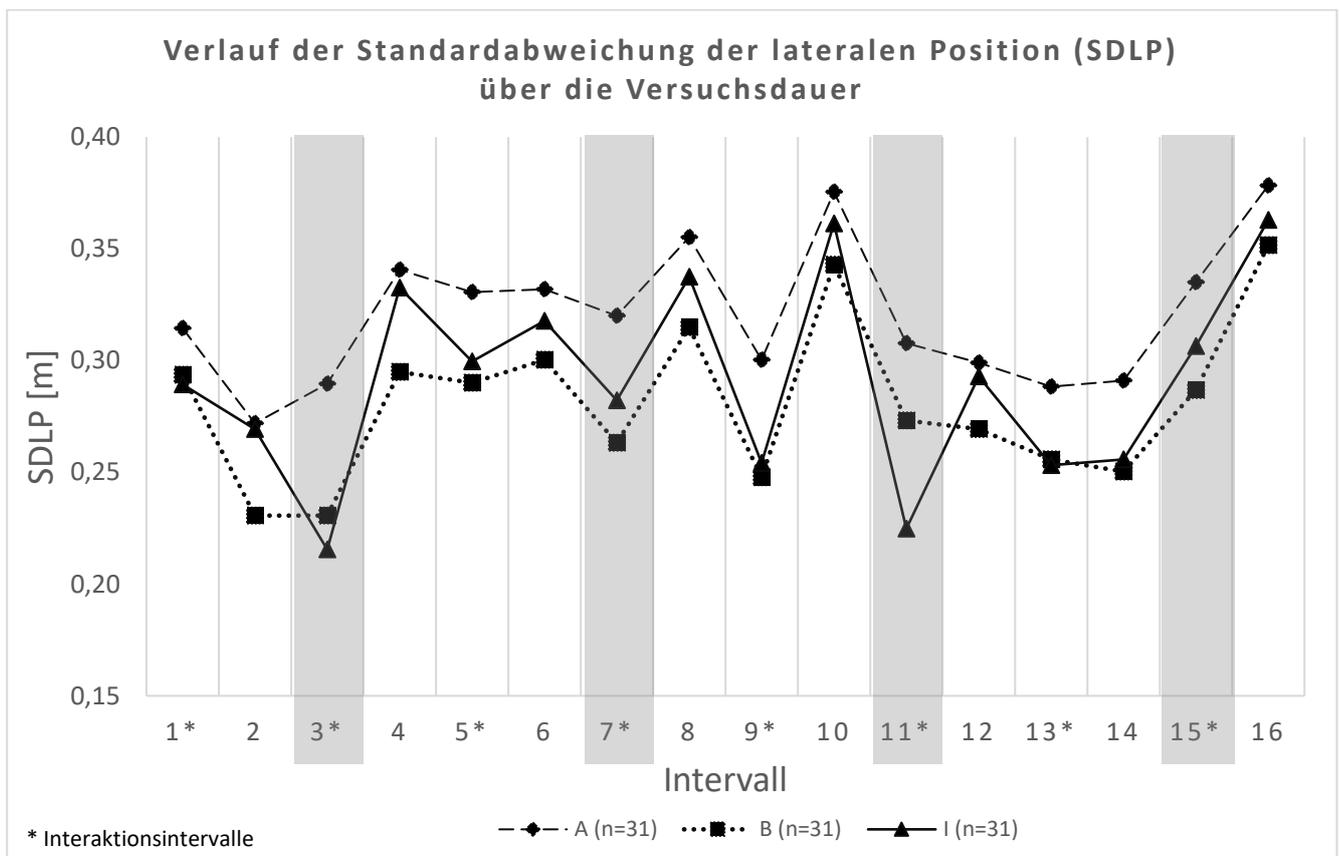


Abbildung 48: Deskriptive Verlaufscharakteristik der Standardabweichung der lateralen Position (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt; in den mit * markierten Intervallen fand die technische Interaktion statt)

Der Anstieg vollzieht sich auf allen Fahrten auch in Intervall 16, sodass in diesem Intervall erneut die maximalen Werte aus Intervall 10 erreicht und auf der Beifahrerfahrt (MW 0,35m) sogar leicht übertroffen werden.

Inferenzstatistik:

Die beschriebenen Unterschiede zwischen den Fahrten wurden mittels statistischer Tests auf Signifikanz überprüft (siehe Tabelle 43). Die Tests haben ergeben, dass die höhere SDLP der Alleinfahrt im Vergleich zur SDLP der Beifahrerfahrt hoch signifikant mit starken Effekten unterschiedlich ist (SDLP Gesamt, A-B: $Z(30)=-4,18$; $p<0,01$; $r=0,75$). Auch die SDLP der Interaktionsfahrt liegt hoch signifikant mit starken Effekten unter der SDLP der Alleinfahrt (SDLP Gesamt, A-I: $Z(30)=-4,15$; $p<0,01$; $r=0,75$). Zwischen der Interaktionsfahrt und der Beifahrerfahrt konnte hinsichtlich der SDLP insgesamt kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Die Unterschiede der SDLP sind darüber hinaus zwischen Beifahrerfahrt und Alleinfahrt in allen vier Vergleichsintervallen signifikant unterschiedlich. In Intervall 3 sind die Unterschiede hoch signifikant mit starken Effekten (SDLP Intervall 3, A-B: $t(30)=-5,73$; $p<0,01$; $d=1,03$), in Intervall 7 sind sie ebenfalls hoch signifikant mit mittleren Effekten (SDLP Intervall 7, A-B: $t(30)=-4,02$; $p<0,01$; $d=0,72$), in Intervall 11 sind sie signifikant mit mittleren Effekten (SDLP Intervall 11, A-B: $t(30)=-2,55$; $p=0,02$; $d=0,46$) und im Vergleichsintervall 15 erneut hoch signifikant mit mittleren Effekten (SDLP Intervall 15, A-B: $t(30)=-3,72$; $p<0,01$; $d=0,68$).

Die Unterschiede zwischen der Interaktionsfahrt und der Alleinfahrt sind ebenso in allen Vergleichsintervallen statistisch signifikant. In Intervall 3 ist die SDLP der Interaktionsfahrt hoch signifikant mit starken Effekten unterhalb der SDLP der Alleinfahrt (SDLP Intervall 3, A-I: $t(30)=-5,20$; $p<0,01$; $d=0,93$). In Intervall 7 sind die Unterschiede ebenso hoch signifikant mit mittlerer Effektstärke (SDLP Intervall 7, A-I: $Z(30)=-2,67$; $p<0,01$; $r=0,48$), in Intervall 11 wiederum hoch signifikant mit starker Effektstärke (SDLP Intervall 11, A-I: $Z(30)=-3,84$; $p<0,01$; $r=0,69$) und in Intervall 15 sind die festgestellten Unterschiede immerhin noch schwach signifikant mit kleinen Effekten (SDLP Intervall 15, A-I: $Z(30)=$; $p<0,01$; $r=0,36$).

Zusätzlich liegt die SDLP der Interaktionsfahrt in Intervall 11 hoch signifikant mit starken Effekten unterhalb der SDLP der Beifahrerfahrt (SDLP Intervall, B-I: $Z(30)=-2,86$; $p<0,01$; $r=0,51$).

Tabelle 43: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Standardabweichung der lateralen Position (SDLP)

Messgröße	Abschnitt	Alleinfahrt (A)		Beifahrerfahrt (B)		Interaktionsfahrt (I)		Stat. Test A - B	Effekt. A - B	Stat. Test A - I	Effekt. A - I	Stat. Test B - I	Effekt. B - I
		M	SD	M	SD	M	SD	n = 31		n = 31		n = 31	
SDLP [m]	Gesamt	0,32	0,05	0,28	0,04	0,29	0,05	Z = -4,18*** p < 0,01	r = 0,75	Z = -4,15*** p < 0,01	r = 0,75	t = 1,28 p = 0,21	---
	Intervall 3	0,29	0,08	0,23	0,06	0,22	0,06	t = -5,73*** p < 0,01	d = 1,03	t = -5,20*** p < 0,01	d = 0,93	t = -1,29 p = 0,21	---
	Intervall 7	0,32	0,08	0,26	0,07	0,28	0,06	t = -4,02*** p < 0,01	d = 0,72	Z = -2,67*** p < 0,01	r = 0,48	t = 1,46 p = 0,15	---
	Intervall 11	0,31	0,07	0,27	0,06	0,22	0,09	t = -2,55** p = 0,02	d = 0,46	Z = -3,84*** p < 0,01	r = 0,69	Z = -2,86*** p < 0,01	r = 0,51
	Intervall 15	0,34	0,07	0,29	0,06	0,31	0,08	t = -3,72*** p < 0,01	d = 0,68	t = -1,98* p = 0,06	d = 0,36	t = 1,54 p = 0,13	---

*p<0.1 schwach signifikant, **p<0.05 signifikant, ***p< 0.01 hoch signifikant; Z: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t: t-Test für abhängige Stichproben

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Verlauf der SDLP bei allen Fahrten hohe Ähnlichkeit aufweist, allerdings auf durchweg unterschiedlichen Niveaus. Aus diesem Grund werden die aufgestellten Hypothesen zum Vergleich der Interaktionsfahrt und der Alleinfahrt beibehalten (siehe Tabelle 44), da die SDLP der Interaktionsfahrt in allen Vergleichsintervallen unterhalb der SDLP der Alleinfahrt liegt. Die Hypothese zu Intervall 15 wird zurückgestellt, da die festgestellten Unterschiede nur schwach signifikant sind.

Die Verläufe der Interaktionsfahrt und der Beifahrerfahrt weisen bis auf Intervall 11 keine signifikanten Unterschiede auf, weswegen fast alle Hypothesen beibehalten werden. Die Hypothese zu Intervall 11 wird hingegen verworfen, da hier die SDLP der Interaktionsfahrt sogar unterhalb der SDLP der Beifahrerfahrt liegt.

Tabelle 44: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die Standardabweichung der lateralen Position (SDLP; die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%; die orange hinterlegte Zelle zeigt an, dass ein Signifikanzniveau von nur 10% vorliegt)

	Kenngroße	Hypothese	Test
A-I	SDLP Gesamt	Ges.I < Ges.A	<
	SDLP Intervall 3	3.I < 3.A	<
	SDLP Intervall 7	7.I < 7.A	<
	SDLP Intervall 11	11.I < 11.A	<
	SDLP Intervall 15	15.I = 15.A	<
B-I	SDLP Gesamt	Ges.I = Ges.B	=
	SDLP Intervall 3	3.I = 3.B	=
	SDLP Intervall 7	7.I = 7.B	=
	SDLP Intervall 11	11.I = 11.B	<
	SDLP Intervall 15	15.I = 15.B	=

6.4.3. Vorfälle und Unfälle

Die Anzahl der Vorfälle und im Extremfall die Anzahl der Unfälle liefern eine anschauliche Kenngröße zur quantitativen und qualitativen Bewertung der Fahrleistung. Die Verteilungen der Vorfälle für die drei Fahr Szenarien über die 31 Probanden sind in Abbildung 49 dargestellt.

Auf der Alleinfahrt kam es im Mittel 54,84-mal vor (SD 32,87), dass ein Proband mit Front- und Heckrad von mindestens einer Fahrzeugseite die Fahrstreifenmarkierung überfahren hat, ohne dass dafür ein ersichtlicher Grund vorlag. Auf der Beifahrerfahrt liegt dieser Mittelwert über alle Probanden bei 38,74 Vorfällen (SD 33,04) und auf der Interaktionsfahrt bei 42,84 Vorfällen (SD 31,79). Insgesamt liegt die Standardabweichung bei allen Fahr Szenarien damit sehr hoch.

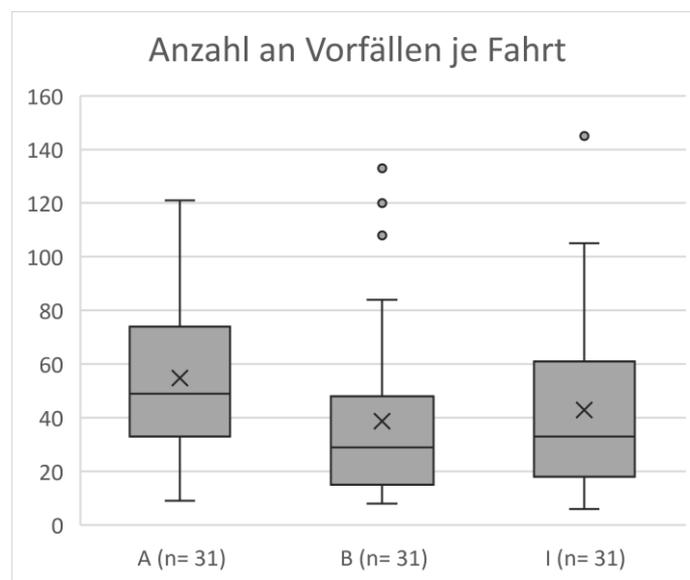


Abbildung 49: Deskriptive Ergebnisdarstellung der Anzahl an Vorfällen je Proband (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Die Anzahl der Unfälle stellen ein besonders schwerwiegendes Verlassen des eigenen Fahrstreifens und sogar der gesamten Fahrbahn dar. In Abbildung 50 ist die Häufigkeit und Unterscheidung der zwei Unfallarten dargestellt.

Insgesamt kam es auf der Alleinfahrt zu 18 Unfällen, das entspricht einer Quote von 0,58 Unfällen pro Versuchsfahrt (SD 1,61). 13 dieser Unfälle ereigneten sich mit der Mittelleitplanke und 5 mit dem Straßengraben.

Auf der Interaktionsfahrt und der Beifahrerfahrt kam es dagegen nur zu jeweils 4 Unfällen, dies entspricht einer Quote von 0,13 Unfällen je Versuchsfahrt. Auf der Interaktionsfahrt ereigneten sich 3 der Unfälle mit der Mittelleitplanke und ein Unfall mit dem Straßengraben. Auf der Beifahrerfahrt kam es zu jeweils zwei Unfällen mit Mittelleitplanke und Straßengraben. In Abbildung 51 ist zu erkennen, wie viele unterschiedliche Probanden Unfälle während den Versuchsfahrten verursacht haben. Auf der

Alleinfahrt haben 5 verschiedene Probanden, auf der Beifahrerfahrt 2 und auf der Interaktionsfahrt 1 Proband Unfälle herbeigeführt.

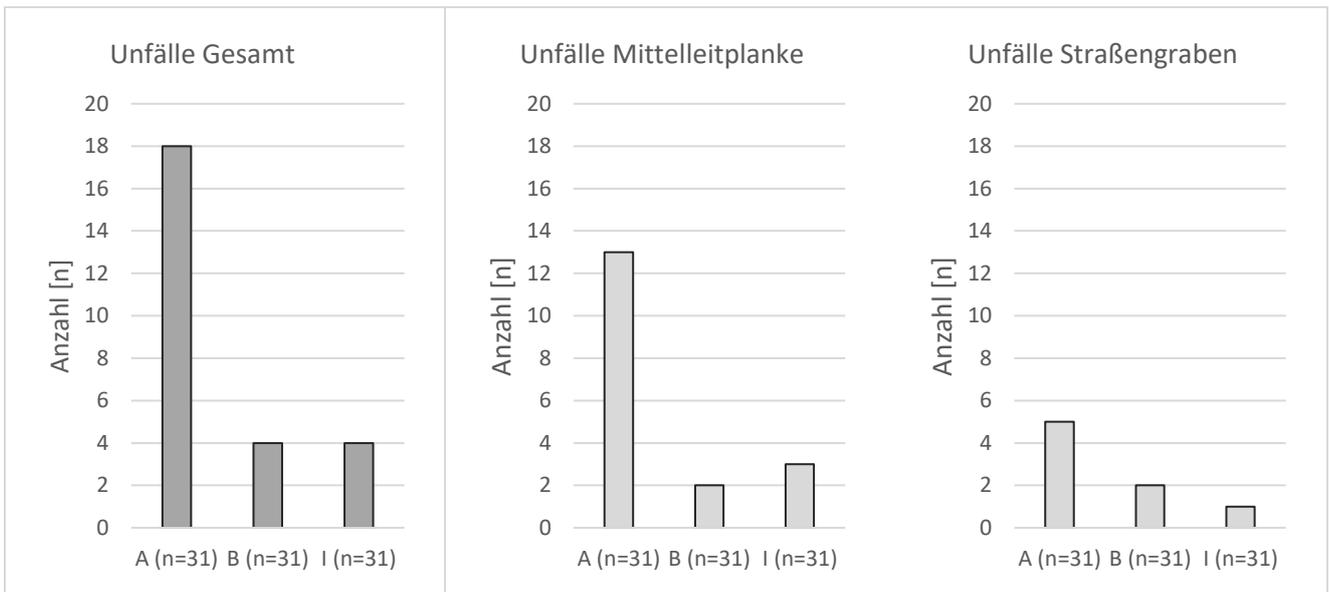


Abbildung 50: Deskriptive Darstellung der gesamten, über alle Probanden aufsummierten Anzahl an Unfällen (links), der Unfälle mit der Mittelleitplanke (Mitte) und mit dem Straßengraben (rechts; A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

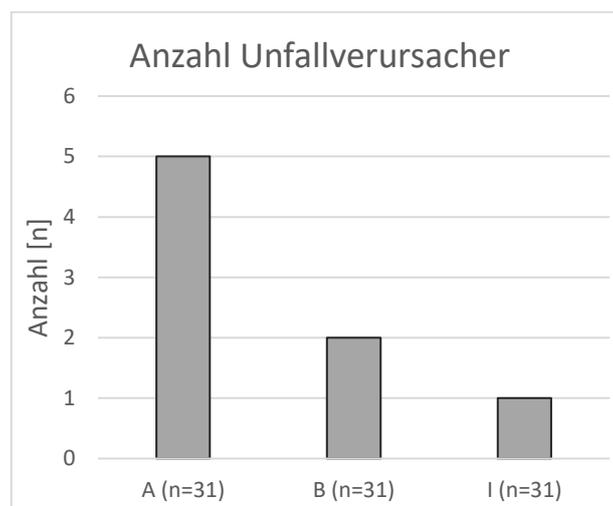


Abbildung 51: Deskriptive Darstellung der Anzahl an Unfallverursachern je Fahrscenario (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)

Inferenzstatistik:

In Tabelle 45 sind die Ergebnisse der statistischen Tests aufgeführt. Die Unterschiede in der Anzahl an Vorfällen zwischen Beifahrerfahrt und Alleinfahrt sind hoch signifikant mit mittleren Effekten (Vorfälle Gesamt, A-B: $t(30)=3,87$; $p<0,01$; $d=0,69$). Genauso stellt es sich im Vergleich zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt dar, auch hier sind die Testergebnisse hoch signifikant mit mittlerer Effektstärke (Vorfälle Gesamt, A-I: $t(30)=3,21$; $p<0,01$; $d=0,58$). Zwischen der Anzahl der Vorfälle von Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Hinsichtlich der unterschiedlichen Anzahl an Unfällen je Versuchsfahrt zwischen Alleinfahrt und Beifahrerfahrt zeigt der t-Test schwache Signifikanz mit kleinen Effekten an. Das identische Urteil liegt für den Vergleich der Unfallzahlen je Fahrversuch zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt vor. Zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt besteht weder ein deskriptiver noch ein statistisch signifikanter Unterschied.

Tabelle 45: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Vorfal- und Unfallzahlen im Fahrversuch

Messgröße	Abschnitt	Allein-fahrt (A)		Beifahrer-fahrt (B)		Interaktions-fahrt (I)		Stat. Test A - B	Effekt. A - B	Stat. Test A - I	Effekt. A - I	Stat. Test B - I	Effekt. B - I
		M	SD	M	SD	M	SD	n = 31		n = 31		n = 31	
Ø Vorfälle [n]	Gesamt	54,84	32,57	38,74	33,04	42,84	31,79	t = 3,87*** p < 0,01	d = 0,69	t = 3,21*** p < 0,01	d = 0,58	t = 1,13 p = 0,27	---
Ø Unfälle [n]	Gesamt	0,58	1,61	0,13	0,56	0,13	0,72	t = -1,95* p = 0,06	d = 0,35	t = -1,81* p = 0,08	d = 0,33	t = 0,00 p = 1,00	---

*p<0.1 schwach signifikant, **p<0.05 signifikant, ***p< 0.01 hoch signifikant; Z: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t: t-Test für abhängige Stichproben

Zusammengefasst liegt die Anzahl der Vorfälle auf der Alleinfahrt am höchsten, weswegen die Hypothese zum Vergleich der Vorfälle zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt beibehalten wird. Bezüglich der Anzahl der Unfälle ist dieser Vergleich hingegen nur schwach signifikant weswegen die Hypothese zurückgestellt wird (siehe Tabelle 46).

Der Vergleich zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt fällt, wie erwartet, nicht unterschiedlich aus, weswegen beide Hypothesen zu Vorfällen und Unfällen beibehalten werden.

Tabelle 46: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die Vorfal- und Unfallzahlen im Fahrversuch (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%; die orange hinterlegte Zelle zeigt an, dass ein Signifikanzniveau von nur 10% vorliegt)

	Kenngroße	Hypothese	Test
A-I	Anzahl Vorfälle	Ges.I < Ges.A	<
	Anzahl Unfälle	Ges.I < Ges.A	<
B-I	Anzahl Vorfälle	Ges.I = Ges.B	=
	Anzahl Unfälle	Ges.I = Ges.B	=

6.5. Nutzungserleben Gamification

Zuletzt werden die Ergebnisse zum Nutzungserleben vorgestellt. Die Ergebnisvorstellung ist entsprechend der ergänzenden Leithypothesen in zwei Abschnitte eingeteilt. Zunächst werden die Befragungsergebnisse des meCUE Fragebogens dargelegt, dann folgen im zweiten Abschnitt die Ergebnisse der Probanden bei den Gamification-Aufgaben.

6.5.1. Subjektive Beurteilung mittels meCUE- Fragebogen

Die Ergebnisse des meCUE sind in Abbildung 52 dargestellt und werden im Folgenden beschrieben. Die Bewertung der Dimension Nützlichkeit lag mit 4,65 Punkten und einer Standardabweichung von 0,99 Punkten über dem Skalenmittel. Am höchsten bewertet ist die Dimension der Benutzbarkeit mit einem

Mittelwert von 6,29 Punkten bei einer Standardabweichung von 0,73 Punkten. Damit ist das Modul 1 zur aufgabenbezogenen Qualität insgesamt positiv bewertet.

Die Beurteilung der nicht-aufgabenbezogenen Qualität fiel dagegen geringer aus. Die visuelle Ästhetik wurde mit 4,02 Punkten (SD 0,88 Punkte) bewertet und liegt damit minimal über dem Skalenmittel. Etwas unter dem Skalenmittel liegt die Bewertung der Dimension Status mit 3,31 Punkten (SD 1,05 Punkte). Deutlich negativ bewertet ist hingegen die Dimension der Bindung. Hier liegt die Bewertung bei lediglich 1,84 Punkten (SD 0,86). Ohne Berücksichtigung der Referenzwerte liegt die Beurteilung der nicht-aufgabenbezogenen Qualität somit im insgesamt unteren Skalenbereich und zeigt Verbesserungspotential in Modul 2 an.

In Modul 3 liegt die Bewertung der positiven Emotionen bei einem Mittelwert von 3,82 Punkten (SD 0,88 Punkte). Die Bewertung der negativen Emotionen liegt im Mittel bei 2,72 Punkten (SD 0,97 Punkte). Damit sind die negativen Emotionen insgesamt nicht sehr ausgeprägt und liegen über einem Punkt unterhalb der positiven Emotionen.

Die Konsequenzen des Nutzungserlebens sind in Modul 4 zusammengefasst. Hier liegt die Bewertung der Nutzungsintention bei 3,62 Punkten (SD 1,3 Punkte) und die Bewertung der Produktloyalität bei 3,1 Punkten (SD 1,27 Punkte). Damit liegen beide Bewertungen der Dimensionen des vierten Moduls im unteren Mittelfeld der Skala.

Im Gesamturteil wird das Produkt mit 2,1 Punkten bewertet auf einer Skala, die von minus fünf bis fünf reicht. Damit liegt die allgemeine Bewertung des Nutzungserlebens durch die Probanden deutlich im positiven Bereich.

Inferenzstatistik:

Um die zuvor aufgeführten Ergebnisse vergleichbar zu machen und somit besser einordnen zu können, werden sie im Folgenden mit den Referenzwerten (RW) aus der Literatur verglichen. Die Bewertung der Nützlichkeit liegt demnach hochsignifikant mit mittleren Effekten unterhalb der Bewertung der Vergleichsprodukte (Benutzbarkeit MW 4,65 – RW 5,2; $t(30) = -3,17$; $p < 0,01$; $d = 0,56$). Die Bewertung der Benutzbarkeit hingegen hoch signifikant mit starken Effekten über der Bewertung der Vergleichsprodukte (Nützlichkeit MW 6,29 – RW 5,6; $t(30) = 5,24$; $p < 0,01$; $d = 0,94$).

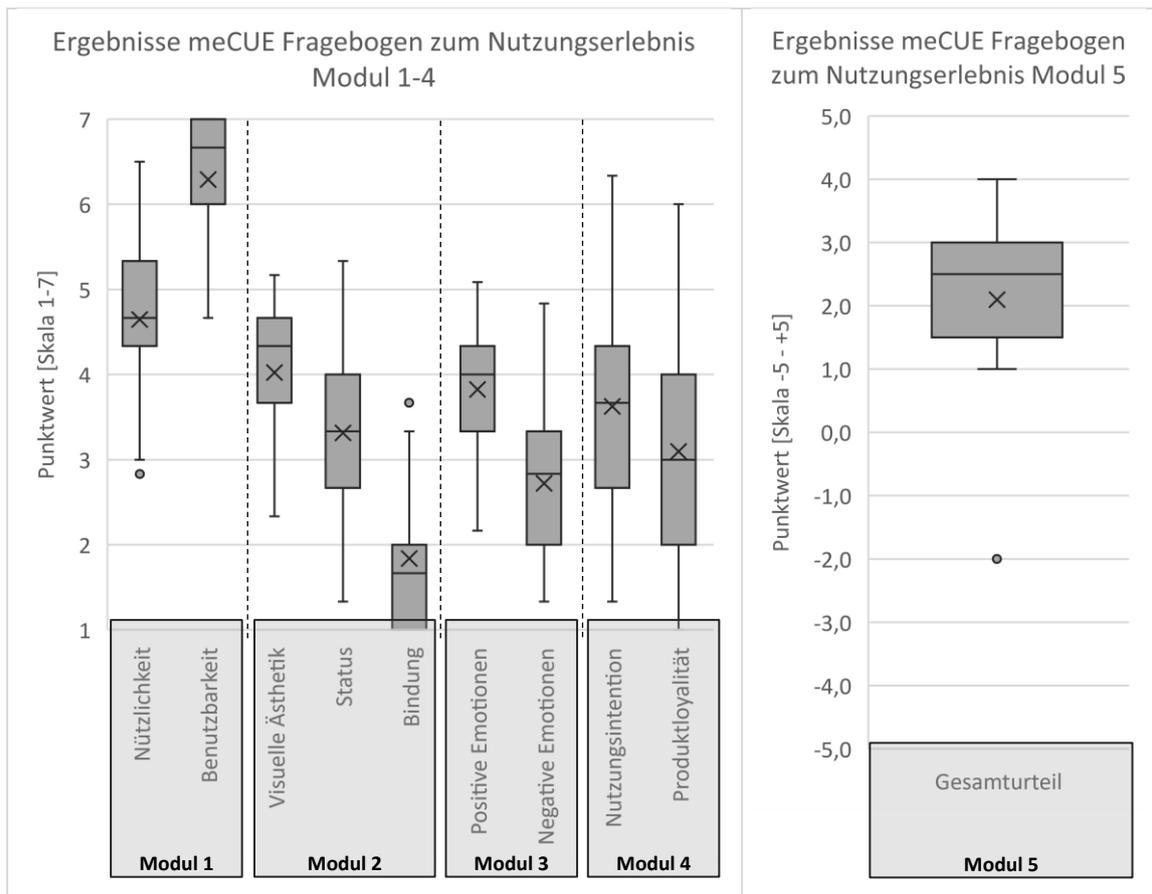


Abbildung 52: Deskriptive Darstellung der meCUE- Befragungsergebnisse zum Nutzungserleben mit dem entwickelten Interaktionssystem auf Gamificationbasis

In Modul 2 liegt die Bewertung der visuellen Ästhetik des Interaktionssystems zum derzeitigen Entwicklungsstand schwach signifikant unterhalb des Referenzwertes (MW 4,02 – RW 4,3; $t(30)=-1,76$; $p=0,09$; $d=0,32$). Die Bewertung der Dimension Status liegt hingegen signifikant mit leichten Effekten über dem Referenzwert (MW 3,31 – RW 2,8; $t(30)=2,72$; $p=0,01$; $d=0,49$). Die Bewertung der Dimension Bindung liegt wiederum hoch signifikant mit mittleren Effekten unterhalb des Referenzwertes (MW 1,84 – RW 2,5; $t(30)=-4,28$; $p<0,01$; $d=0,77$).

Im Modul der Emotionen ergaben sich für die positiven Emotionen keine signifikanten Unterschiede zum Referenzwert. Die negativen Emotionen hingegen liegen hoch signifikant mit mittleren Effekten unterhalb dem Referenzwert dieser Dimension (MW 2,72 – RW 3,3; $t(30)=-3,33$; $p<0,01$; $d=0,60$).

Im Modul der Konsequenzen liegen sowohl die Nutzungsintention (MW 3,62 – RW 4,2; $t(30)=-2,46$; $p=0,02$; $d=0,44$) als auch die Produktloyalität (MW 2,10 – RW 2,4; $t(30)=-2,65$; $p=0,01$; $d=0,48$) signifikant mit schwachen Effekten unterhalb der entsprechenden Referenzwerte.

Das Gesamturteil letztlich weist keine signifikanten Unterschiede zum zugehörigen Referenzwert auf (MW 2,10 – RW 2,4; $t(30)=-0,95$; $p=0,35$)

Tabelle 47: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der meCUE-Befragungsergebnisse mit zuvor festgelegten Referenzwerten (blau hinterlegt sind Tendenzen, die für eine positive Produktbewertung stehen)

Modul	Dimension	Bewertung n=31		Vergleichswert	Stat. Test	Signifikanz	Effekt.	Tendenz
		M	SD					
					df = 30			
Modul 1	Nützlichkeit	4,65	0,99	5,2	t = -3,17***	p < 0,01	d = 0,56	↘
	Benutzbarkeit	6,29	0,73	5,6	t = 5,24***	p < 0,01	d = 0,94	↗
Modul 2	Visuelle Ästhetik	4,02	0,88	4,3	t = -1,76*	p = 0,09	d = 0,32	↘
	Status	3,31	1,05	2,8	t = 2,72**	p = 0,01	d = 0,49	↗
Modul 3	Bindung	1,84	0,86	2,5	t = -4,28***	p < 0,01	d = 0,77	↘
	Positive Emotionen	3,82	0,88	3,7	t = 0,77	p = 0,45	---	↔
Modul 4	Negative Emotionen	2,72	0,97	3,3	t = -3,33***	p < 0,01	d = 0,60	↘
	Nutzungsintention	3,62	1,30	4,2	t = -2,46**	p = 0,02	d = 0,44	↘
Modul 5	Produktloyalität	3,10	1,27	3,7	t = -2,65 **	p = 0,01	d = 0,48	↘
	Gesamturteil	2,10	1,78	2,4	t = -0,95	p = 0,35	---	↔

*p<0.1 schwach signifikant, **p<0.05 signifikant, ***p< 0.01 hoch signifikant t: Einstichproben-t-Test

Zusammengefasst liegt die Bewertung der Nützlichkeit und die Bewertung der Nutzungsintention entgegen der Hypothesen unterhalb der Referenzwerte und die Hypothesen werden somit abgelehnt. Zurückgestellt wird die Beurteilung der Hypothese zur visuellen Ästhetik, da die Unterschiede zwischen der Dimensionsbewertung und dem zugehörigen Referenzwert nur schwach signifikant sind.

Die übrigen Hypothesen können beibehalten werden.

Tabelle 48: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die Bewertung des Nutzungserlebens mittels des meCUE Fragebogens (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%; die orange hinterlegte Zelle zeigt an, dass ein Signifikanzniveau von nur 10% vorliegt)

meCUE Dimension	Hypothese Gesamt	Test
Nützlichkeit	Bew.Nütz. ≥ 5,2	<
Benutzbarkeit	Bew.Benutz. ≥ 5,6	>
visuelle Ästhetik	Bew.Ästh. ≥ 4,3	<
Status	Bew.Stat. ≥ 2,8	>
Bindung	Bew.Bin. < 2,5	<
positive Emotionen	Bew.posE. ≥ 3,7	=
negative Emotionen	Bew.negE. ≤ 3,3	<
Nutzungsintention	Bew.NutzI. ≥ 4,2	<
Produktloyalität	Bew.Prod. < 3,7	<
Gesamturteil	Bew.Ges. ≥ 2,4	=

6.5.2. Leistung bei Gamification-Aufgaben

In diesem Abschnitt wird die von den Probanden erbrachte Leistung bei den Gamificationaufgaben vorgestellt. Die Ergebnisse sollen einen Aufschluss über die tatsächliche Nutzung des Systems geben. Über die gesamte Fahrzeit haben die Probanden im Durchschnitt 752,2 Punkte von 1080 möglichen Punkten erzielt (siehe Abbildung 53 links). Die Standardabweichung dieser Punktzahl liegt bei 45,6 Punkten.

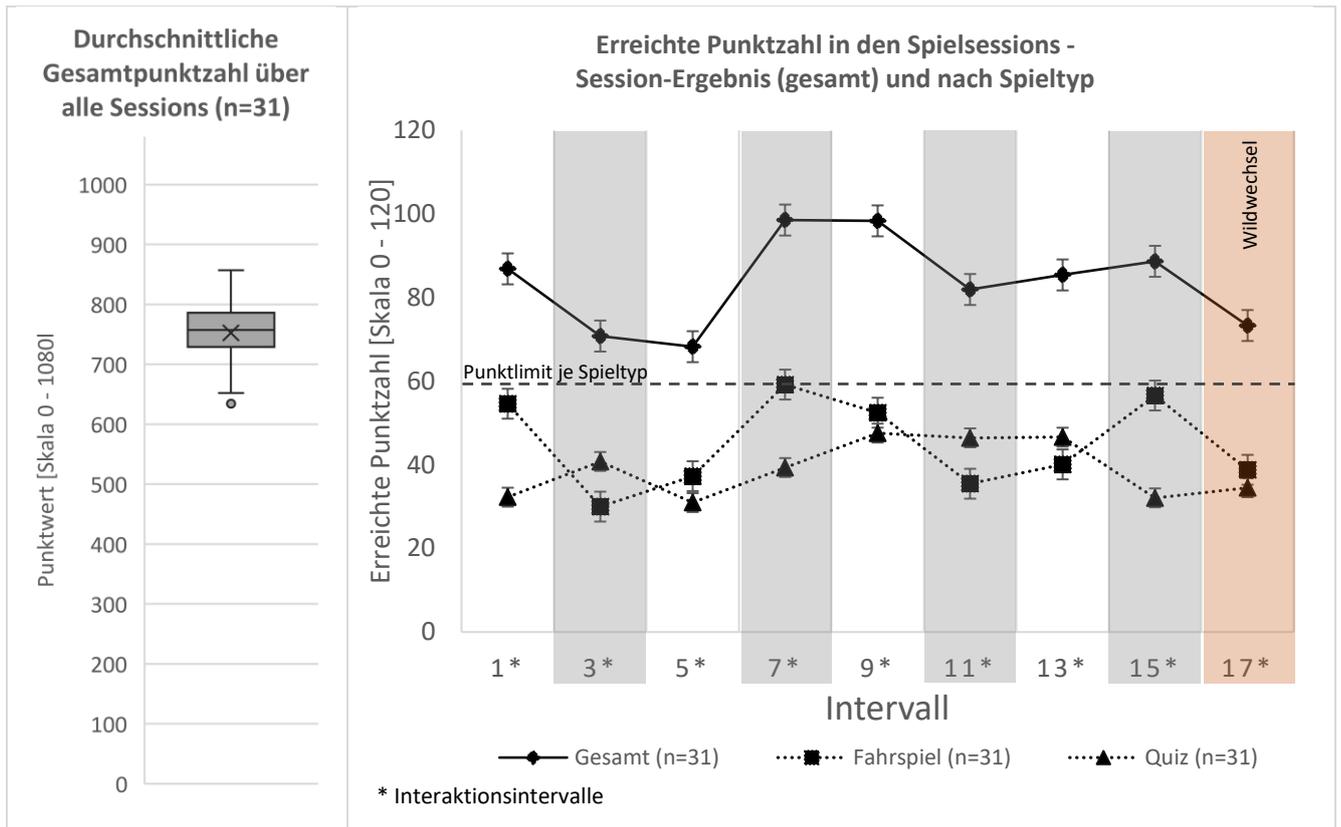


Abbildung 53: Deskriptive Darstellung der bei den Gamification-Aufgaben erbrachten Leistung

Die durchschnittliche Punktzahl in den Fahrspielen schwankt über die gesamte Versuchsdauer zwischen 70,3 Punkten und 98,5 Punkten (siehe Verlauf Sessionergebnisse in Abbildung 53 rechts).

Im Referenzintervall 3 liegt die Durchschnittspunktzahl bei 70,3 Punkten bei einer Standardabweichung von 14,1 Punkten (siehe Tabelle 49). Die Punktzahl setzt sich aus 30,0 Punkten aus dem Fahrspiel dieser Runde und 40,8 Punkten aus den Quizfragen zusammen. In Intervall 7 und somit in der vierten Interaktionssession liegt die durchschnittlich erreichte Punktzahl mit 98,5 Punkten am höchsten. In diesem Intervall haben die Probanden beim Fahrspiel 59,2 von 60 möglichen Punkten erreicht und bei den Quizfragen 39,4 Punkte.

In Intervall 11 und damit dem nächsten Vergleichsintervall sinkt das Sessionergebnis auf 81,9 Punkte (SD 15,3 Punkte), diese setzten sich zusammen aus 35,5 Fahrspielpunkten und 46,5 Quizpunkten.

In Intervall 15, dem letzten Vergleichsintervall steigt die Punktzahl auf 88,7 Punkte (SD 10,6 Punkte). 56,6 Punkte davon erzielten die Probanden beim Fahrspiel und 32,1 durch Quizfragen.

Die abfallende Punktzahl im letzten Versuchsintervall 17, die in Abbildung 53 erkennbar ist, erklärt sich durch den simulierten Wildwechsel, der während eines laufenden Fahrspiels stattfand.

Tabelle 49: Tabellarische Darstellung der bei den Gamification-Aufgaben erbrachten Leistung in den Vergleichsintervallen

Messgröße	Session	M	SD
Session-Ergebnis [Spielpunkte]	Intervall 3	70,8	14,1
	Intervall 7	98,5	8,9
	Intervall 11	81,9	15,6
	Intervall 15	90,0	10,6

Inferenzstatistik:

Um die zuvor aufgestellten Hypothesen zu überprüfen, wird eine einseitige ANOVA mit Messwiederholungen durchgeführt. Mithilfe der ANOVA gilt es zu überprüfen, ob die erzielten Sessionergebnisse über den Fahrversuch stabil bleiben beziehungsweise nicht unter den Wert des Vergleichsintervalls 3 fallen.

Die Messwerte weisen keine Ausreißer auf und die Annahme der Normalverteilung der Sessionergebnisse kann beibehalten werden.

Mauchlys Test auf Sphärizität zeigt, dass die Annahme der Sphärizität nicht verletzt wird ($\chi^2(2) = 5.906, p = 0,32$) daher muss keine Korrektur der ANOVA-Ergebnisse vorgenommen werden.

Die Versuchsdauer führt durch die wiederholte Verwendung des Interaktionssystems zu statistisch signifikanten Veränderungen der Punktzahl in den Gamification-Aufgaben, $F(3, 90) = 28,05, p < 0,01$, partielles $\eta^2 = 0,75$ (siehe Tabelle 50).

Tabelle 50: Ergebnis einseitige ANOVA mit Messwiederholung zum Vergleich der Sessionergebnisse

		df	Stat. Test	Signifikanz	Effekt
Intervallvergleich	Sphärizität angenommen	3	F = 28,05***	p < 0,01	$\eta^2 = 0,48$
Fehler (Intervallvergleich)	Sphärizität angenommen	90			

Die Post-Hoc Analyse mit einer Bonferroni-Anpassung zeigt (siehe Tabelle 51), dass die Punktzahl von Intervall 3 zu Intervall 7 hoch signifikant ($p < 0,01$) um 27,7 (95% Konfi.Int., 18,6 bis 36,9) Punkte steigt und von Intervall 3 zu Intervall 11 signifikant ($p = 0,03$) um 11,1 (95% Konfi.Int., 0,8 bis 21,5) Punkte steigt. Letztlich sind auch die Unterschiede der Sessionergebnisse aus Intervall 3 und Intervall 15 hoch signifikant ($p < 0,01$) unterschiedlich. Zwischen diesen Intervallen steigt die Punktzahl um 19,2 (95% Konfi.Int., 10,7 bis 27,6) Punkte an.

Zusammenfassend bedeuten die Ergebnisse der ANOVA-Analyse, dass die Nutzung über den Zeitverlauf mindestens konstant war. Die Sessionergebnisse der Vergleichsintervalle 7, 11, und 15 waren allesamt statistisch höher als im Referenzintervall 3 zu Beginn der Fahrt, somit werden alle Hypothesen zur Nutzung beibehalten (siehe Tabelle 52).

Tabelle 51: Ergebnis der Post-Hoc Analyse mit Bonferroni-Korrektur zum Vergleich der Sessionergebnisse

Post-Hoc						
Session-Ergebnis		Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall für die Differenz	
					Untergrenze	Obergrenze
Intervall 3	Intervall 7	-27,7	3,2	p < 0,01	-36,860	-18,624
	Intervall 11	-11,1	3,7	p = 0,03	-21,479	-0,779
	Intervall 15	-19,2	3,0	p < 0,01	-27,614	-10,708
Intervall 7	Intervall 3	27,7	3,2	p < 0,01	18,624	36,860
	Intervall 11	16,6	3,0	p < 0,01	8,007	25,219
	Intervall 15	8,6	2,5	p = 0,01	1,646	15,516
Intervall 11	Intervall 3	11,1	3,7	p = 0,03	0,779	21,479
	Intervall 7	-16,6	3,0	p < 0,01	-25,219	-8,007
	Intervall 15	-8,0	3,4	p = 0,15	-17,651	1,586
Intervall 15	Intervall I 3	19,2	3,0	p < 0,01	10,708	27,614
	Intervall 7	-8,6	2,5	p = 0,01	-15,516	-1,646
	Intervall 11	8,0	3,4	p = 0,15	-1,586	17,651

Tabelle 52: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die Bewertung der Nutzung des Interaktionssystems

Kenngröße	Hypothese Gesamt		Test
Punktzahl Intervall 7	Pkt.Int7	≥ Pkt.Int3	>
Punktzahl Intervall 11	Pkt.Int11	≥ Pkt.Int3	>
Punktzahl Intervall 15	Pkt.Int15	≥ Pkt.Int3	>

7. Diskussion

Die in Kapitel 6 vorgestellten Ergebnisse sollen in diesem folgenden Kapitel 7 diskutiert werden. Ziel ist es mithilfe der Diskussion und der daraus folgenden Behandlung der Leithypothesen, die zu Beginn dieser Arbeit aufgestellten Forschungsfragen zu beantworten.

Zunächst soll jedoch in Kapitel 7.1 auch die eingesetzte Untersuchungsmethodik diskutiert werden, da die Erkenntnisse dieser Auseinandersetzung in der inhaltlichen Diskussion der Ergebnisse (Kapitel 7.2) Berücksichtigung finden müssen.

7.1. Diskussion der Untersuchungsmethodik

Die Methodendiskussion erfolgt getrennt nach Diskussion der Messmethodik und Diskussion des Versuchsaufbaus. Die Diskussion zur Messmethodik erfolgt wiederum aufgeteilt nach den, zuvor zur Gliederung verwendeten, Kennwertkategorien.

7.1.1. Diskussion zur Messmethodik

Die verwendete Messmethodik wurde auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche ausgewählt (siehe Bier, Wolf et al., 2018). Im Rahmen dieser Recherche wurden die Urteile zur verwendeten Messmethodik aus 53 peer-reviewten Publikationen zusammengefasst. Auf dieser Grundlage wurde die Auswahl der verwendeten Methoden auch in Abhängigkeit der Verfügbarkeit der Messmethode getroffen.

Da sich die theoretische Eignung letztlich von der tatsächlichen Eignung der Methodik unterscheiden kann, ist die folgende Diskussion vor dem Hintergrund der dargestellten Ergebnisse notwendig.

Kennwert: Mentale Beanspruchung

Die mentale Beanspruchung wurde mit der Kurzversion des NASA-TLX Fragebogen erfasst. Der NASA-TLX ist grundsätzlich ein weit verbreiteter Fragebogen und wird gerne dazu eingesetzt, die Veränderungen des Workload bei steigender Aufgabenkomplexität zu erfassen (Grier, 2015). In dieser Untersuchung wurde der Workload jedoch nicht gravierend gesteigert, da die Probanden zu keinem Zeitpunkt überfordert werden sollten. Die mentale Beanspruchung sollte folglich lediglich zwischen gering und mittel variieren.

Aufgrund der Verwendung der Kurzversion entfiel die Probanden-Gewichtung der sechs Dimensionen des NASA-TLX im Paarvergleich zueinander, die lediglich ein Bestandteil der Langversion ist (Hart & Staveland, 1988). In den Gesamtwert des NASA-TLX sind somit alle Bewertungen der einzelnen Dimensionen zu gleichen Teilen eingeflossen. Durch diesen Umstand wird der Gesamtwert, durch eine objektiv nicht nachvollziehbare, unterschiedliche Bewertung der körperlichen Anforderung (z. B. durch Elektrokardiogramm nicht nachweisbar) verfälscht.

Noch merklicher ist der Einfluss der Dimension der Frustration, dadurch, dass die Probanden auf der Beifahrerfahrt deutlich weniger frustriert waren, erhalten sie insgesamt einen niedrigeren Gesamtwert, der für eine Unterbeanspruchung spricht. Im Gesamtwert würde der NASA-TLX somit ausdrücken, dass die Probanden mental auf der Alleinfahrt mehr beansprucht waren als auf der Beifahrerfahrt, dieses Ergebnis ist jedoch zu bezweifeln.

In Vergleichsstudien (vgl. z.B. Dey & Mann, 2010; Rubio, Diaz, Martin & Puente, 2004) des NASA-TLX und des SWAT Fragebogens (Reid, G. B. & Nygren, 1988), dem am zweithäufigsten verwendeten Tool (Grier, 2015), konnte dem NASA-TLX auch bei Unterbeanspruchung der Probanden kein Nachteil nachgewiesen werden, insofern liegt die Problematik vermutlich in der Verwendung der Kurzversion, von der bei nachfolgenden Studien eher abzusehen wäre.

Nichtsdestotrotz ist hinsichtlich der Bewertung der mentalen Beanspruchung die Analyse der einzelnen Dimensionen sehr aufschlussreich, wie es bereits von Galy et al. (2017) empfohlen wurde.

Kennwerte: Psycho-Physiologische Müdigkeit

Für die Erfassung der Psycho-Physiologischen Müdigkeit wurden eine subjektive Skala als auch physiologische Messverfahren eingesetzt.

Der subjektive Fragebogen, die Karolinska-Sleepiness-Scale, wurde jeweils einmal vor Fahrtantritt und einmal nach Fahrtantritt eingesetzt. Auch wenn in vielen Studien die Skala kontinuierlich in ca. fünfminütigen Intervallen eingesetzt wird (Åkerstedt, Anund, Axelsson & Kecklund, 2014; Kecklund, G. et al., 2006), ist diese Vorgehensweise durchaus gängig (vgl. z.B. Hu & Zheng, 2009). Letztlich war das Instrument zuverlässig und hat nachvollziehbare und verwendbare Ergebnisse geliefert, sodass an dem Vorgehen festgehalten werden kann.

Die Auswertung der elektrodermalen Aktivität liefert sehr interessante und auch deutliche Ergebnisse, zumindest solange die einzelnen Fahrscenarien separiert betrachtet werden. In der Gegenüberstellung der Fahrten zueinander liegen jedoch durch die vielen Einflüsse auf die SCL (Kommunikation, Anspannung, Interindividualität etc.; Boucsein, 2012) letztlich unterschiedliche Ausgangsbedingungen vor, die einen Vergleich schwierig gestalten. Dennoch wird an der Auswahl der tonischen Anteile der Hautleitfähigkeit festgehalten, da nur sie das allgemeine Niveau der Hautleitfähigkeit beschreiben (Skin Conductance Level). Im Unterschied dazu könnten auch die phasischen Anteile analysiert werden, die schneller und feiner die Reaktion auf Stimulantien beschreiben (Skin Conductance Response; Boucsein, 2012), jedoch ist dazu eine Festlegung von Events notwendig, welche auf der Alleinfahrt schlicht nicht vorhanden waren. Ferner ist zur Analyse der phasischen Anteile eine Aufzeichnungsrate von weit mehr als 60Hz notwendig, um die feinen Ausschläge zu detektieren. Aufgrund der Synchronisation der Hautleitdaten auf 60 Hz mit der Simulator-Software Silab, war die Aufzeichnungsrate jedoch beschränkt.

Die Herzschlagrate, die im Allgemeinen als geeignet angesehen wird Müdigkeit zu beurteilen (u.a. Chowdhury et al., 2018; Larue et al., 2011), zeigte für alle drei Fahrten nahezu identische Verläufe, die keine statistischen Unterschiede aufwiesen. Dies zeigt, dass die Effekte der unterschiedlichen Ausprägung der Müdigkeit durch die Effekte der körperlichen Inaktivität überlagert werden. Denn die körperliche Inaktivität und die damit einhergehende geringe Beanspruchung des Herz-Kreislaufsystems führt zu einem deutlichen Absinken der Herzschlagfrequenz auf allen Fahrten (Muehlhan et al., 2014). Zwar kann auch Müdigkeit zu einem starken Absinken der Herzschlagfrequenz führen, dies geschieht jedoch erst mit dem tatsächlichen Einschlafen der Probanden (Penzel et al., 2016) und somit im Fahrversuch nur im Extremfall.

Die Herzschlagratenvariabilität zeigt eine ähnliche Entwicklung, auch hier sind zwischen den Fahrten kaum Unterschiede festzustellen, obwohl die Fahrleistungsdaten und die subjektive Befragung deutliche Unterschiede aufzeigen. Es bleibt an dieser Stelle unklar, ob auch hier die Aufzeichnungsrate von 60Hz zu gering war, um die Schwankungen in den R-Zackenabständen zuverlässig zu dokumentieren. Laborde, Mosley und Thayer (2017) empfehlen zwar eine Aufzeichnungsrate von mindestens 125-500Hz, allerdings beziehen sie sich hinsichtlich der Herzschlagvariabilität auf die Methoden der Frequenzbandanalysen und nicht auf die Standardabweichung der Herzschlagvariabilität. Mahdiani, Jeyhani, Peltokangas und Vehkaoja (2015) haben wiederum HRV Daten, die mit einer Aufzeichnungsrate von 5000Hz gewonnen wurden, künstlich heruntergetaktet und kamen zu dem Schluss, dass auch eine Aufzeichnungsrate von 50Hz, unter Akzeptanz geringer Fehler, ausreichend sei. Letztlich war die Aufzeichnungsrate von 60Hz auch hier der Synchronisierung mit SILAB geschuldet und somit nicht zu umgehen.

Hinsichtlich des eingesetzten Eyetracking-Verfahrens ist festzuhalten, dass zum einen die Ausfälle des Systems problematisch waren, aber auch die Eyetracking-Technik im zuverlässigen Zustand nicht die Optimallösung darstellt. Da ein Lidschluss darüber detektiert und aufgezeichnet wird, ob eine Pupille vom System erkannt wird oder nicht, können auch andere Ursachen zum Beispiel Lichtreflexionen auf dem Auge, die eine Pupillendetektion verhindern, als Lidschluss gezählt werden. Da jedoch die Versuchsbedingungen für alle Probanden auf allen Fahrten identisch waren, Brillenträger von der Untersuchung ausgeschlossen waren (erhöhte Anzahl von Reflexionen) und die prozentuale Änderung der Lidschlussfrequenz betrachtet wird, sollte dies die Ergebnisse nicht allzu stark beeinflussen. Jedoch schließt es eine Betrachtung der Lidschlussdauer aus. Für zukünftige Untersuchungen sollte ein System verwendet werden, das entweder die Muskelaktivität des Auges aufzeichnet und den Lidschluss und die Dauer somit direkt aufzeichnet (Chowdhury et al., 2018), oder ein Eyetracking-System, das eine nachträgliche Videoanalyse des detektierten Auges zulässt, um die einzelnen Lidschlüsse zumindest stichprobenartig zu verifizieren. Letzteres war mit dem eingesetzten System nicht möglich. Eine nicht

untersuchte Kenngröße des Eyetrackings stellt die Analyse der Fixationsdauer dar, diese steigt im Mittelwert mit zunehmender Müdigkeit nach den Erkenntnissen von Coughlin, Reimer und Mehler (2011), was durch sogenannte *blank stares* also Blicke ins Leere zu erklären wäre. Da diese Kenngröße in der Müdigkeitsbetrachtung allerdings bislang nicht allzu weit verbreitet ist, wurden diese Daten nicht betrachtet.

Kennwerte: Vigilanz

Die Methodik der Vigilanzmessung war mit dem Fragebogen zur Schilderererkennung selbst entwickelt und lieferte nachvollziehbare und prägnante Ergebnisse. Dadurch, dass das Ausfüllen des Fragebogens die erste Handlung im direkten Anschluss an die Versuchsfahrt war, hatten die Probanden keinerlei Probleme den Bogen auszufüllen. Die Methode weist damit Ähnlichkeit zur SAGAT Methode (Endsley, 1988) auf, wenngleich die bloße Schilderererkennung keinesfalls eine umfassende Methode zur vollständigen Erhebung der Situation-Awareness darstellt. Insofern wäre es zu überprüfen, ob die Einbindung von weiteren Fragen zu weiteren Elementen des Fahrerumfeldes sinnvoll ist. Fraglich wäre dies, da Probanden dazu neigen zu raten und Dinge in ihrer Erinnerung abstrahiert zusammenzufassen, wenn die Befragung in zu großem Abstand nach dem Geschehenen liegt (Nisbett & Wilson, 1977). Dadurch dass die Probanden in dieser Untersuchung den Fragebogen zur Schilderererkennung nur erhalten haben, wenn sie zuvor von selbst erkannt haben, dass Schilder deplatziert waren (siehe Abschnitt 5.3.3), konnte die Gefahr einer Ergebnisverzerrung durch Raten weitestgehend ausgeschlossen werden.

Der zweite Vigilanztest erfolgte durch einen Wildwechsel. Die Ergebnisse sind zwischen den Fahrten nicht signifikant unterschiedlich, was auch unter Betrachtung der weiteren Ergebnisse darauf zurückzuführen ist, dass unabhängig von der Interaktionsart die Probanden zu diesem Zeitpunkt ermüdet waren. Eine frühere Durchführung oder mehrfache Durchführung eines solchen Reaktionstests wäre allerdings nicht zielführend. Probanden gaben direkt nach der Fahrt sehr häufig verbal an, dass sie durch den Schockmoment plötzlich sehr wach waren, dies würde also die untersuchte Monotonie erheblich beeinflussen. Eine strukturierte Erhebung, um solche Aussagen genauer zu quantifizieren, wurde allerdings nicht durchgeführt, sodass keine objektive Zusammenfassung gegeben werden kann.

Kennwerte: Fahrleistung

Herangezogene und dargestellte Kennwerte zur Fahrleistung waren die mittlere Geschwindigkeit, die Standardabweichung der lateralen Position, sowie die Anzahl der Vorfälle und Unfälle. Alle Kennwerte sind weit verbreitet und werden nicht nur in Müdigkeitsuntersuchungen herangezogen, um Aussagen über die Fahrleistung zu treffen. Die generelle Eignung ist jedoch nicht nur durch den häufigen Einsatz, sondern auch durch die positive Bewertung dieser Kennwerte gesichert (vgl. Bier, Wolf et al., 2018).

Hinsichtlich der SDLP ist allerdings zu erwähnen, dass trotz Ausschlusses aller Kurven und Überholmanöver aus den Auswertungsintervallen ein qualitativ ähnlicher Verlauf der Kenngröße über die Intervalle zu beobachten war. Diese Sprünge in der SDLP können auch nach erneuter Prüfung der Auswertintervalle im Abgleich mit den Streckencharakteristika nicht erklärt werden, insbesondere sind die synchronen Anstiege aller Fahrten in den Intervallen 8 und 11 zu nennen, für die keine Begründung gefunden wurde.

Gesamtbetrachtung:

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass ein kombinierter Einsatz von Kennwerten zur Beurteilung der Wirksamkeit und des Erfolges von Gegenmaßnahmen zur monotoniebedingten Müdigkeit unumgänglich ist. Da Probanden im Fahrkontext sehr unterschiedlich auf Müdigkeit reagieren und teilweise trotz messbarer physiologischer Müdigkeit noch gute Fahrleistung erbringen (Karrer, Vöhringer-Kuhnt, Baumgarten & Briest, 2004), sollten psycho-physiologische- und Fahrleistungs-Kennwerte nicht isoliert betrachtet werden. Diese Ergebnisse bestätigen die Erkenntnisse von Haider und Rohmert (1976), wonach ein bestimmter Anteil an Probanden durch eine gesteigerte Motivation trotz zunehmender Müdigkeit in der Lage ist, das Leistungsniveau zu halten. Dieser Trade-Off zwischen Leistung und Beanspruchung wird auch durch das Modell von Young et al. (2015) beschrieben (siehe Abbildung 5, in Abschnitt 2.1.2).

Weitere müdigkeitsrelevante Kennwerte, die eine aufschlussreichere Analyse der psycho-physiologischen Müdigkeit gewährleisten könnten und damit eine Alternative zur Elektrokardiografie darstellen, sind Elektroenzephalografie-Messwerte. Diese Aufzeichnung und Analyse der Hirnwellenaktivitäten ist ein häufiges und erfolgreich eingesetztes Messverfahren (vgl. Bier, Wolf et al., 2018), wenn die psycho-physiologische Müdigkeit analysiert werden soll (Atchley et al., 2014; Heitmann, Guttkuhn, Aguirre, Trutschel & Moore-Ede, 2001). In dieser Untersuchung wurde von dem Einsatz der Methode aufgrund der hohen Komplexität und der bereits sehr langen Versuchsdauer abgesehen.

7.1.2. Diskussion zum Versuchsaufbau

Für den Fahrversuch wurde ein Studiendesign in einem Fahrsimulator gewählt, da die Sicherheit der Probanden im Vordergrund steht. Ausgeschlossen waren aus diesem Grund Versuche im Realverkehr, da es für die Versuche essentiell war, dass Probanden auch bei deutlichen Anzeichen von Müdigkeit die Fahrzeugführung fortsetzen. Eine Durchführung von Fahrversuchen bei denen die Probanden die Fahrversuche im kontrollierten Feld absolvieren, wurde hingegen ausgeschlossen, da entsprechende Versuchsstrecken, zum Beispiel der Flugplatz Griesheim als Versuchsstrecke der TU Darmstadt, eine realitätsnahe, kurvenarme und autobahnähnliche Streckenführung, die den speziellen Ansprüchen der vorliegenden Untersuchung genügen (Abschnitt 5.2.1), nicht ermöglichen.

Es muss letztlich bei der Übertragung der Versuchsergebnisse berücksichtigt werden, dass Müdigkeit im simulierten Fahrversuch deutlichere Messausschläge bei Fahrleistungskennwerten verursacht, als es im Realverkehr zu erwarten wäre (Knapper, Christoph, Hagenzieker & Brookhuis, 2015; Philip, Sagaspe, Taillard et al., 2005; Zöller, 2015). Die Ursache liegt darin begründet, dass Probanden im Simulatorversuch keiner physischen Gefahr ausgesetzt sind, sodass sie sich schneller der Müdigkeit hingeben beziehungsweise generell risikobereiter agieren (Glendon, Hoyes, Haigney & Taylor, 1996). Diskutiert werden muss auch die Verkehrsdichte, die im Vergleich zum täglichen Realverkehr auf deutschen Autobahnen deutlich geringer simuliert war. Diese Entscheidung ist dadurch begründet, dass Monotonie bewusst erzeugt werden sollte. Im realen Verkehr dürften solch extrem monotone Verkehrssituationen jedoch vor allem auf nächtlichen Fahrten erwartet werden. In den nächtlichen Stunden treten auch statistisch die meisten müdigkeitsbedingten Unfälle auf (Chipman & Jin, 2009; Evers & Auerbach, 2006; Pack, A. I. et al., 1995; Radun, I. & Radun, 2009), da sich in diesem Zeitraum monotoniebedingte Müdigkeit und schlafbezogene Müdigkeit, bedingt durch die Tagesrhythmik, überlagern (May & Baldwin, 2009; Schmidt, E. Andreas, 2010). In diesen Versuchen wurde dennoch eine Tagesfahrt simuliert, um Überbeanspruchung der Probanden durch schlechte Sichtverhältnisse auszuschließen.

Die Versuchslänge war mit über zwei Stunden Fahrzeit zwar sehr lange gewählt und führte letztlich auch dazu, dass Probanden unabhängig vom Versuchsszenario deutliche Anzeichen von Müdigkeit zeigten, jedoch war die Versuchsdauer notwendig, um auch die Wirkdauer der technischen Interaktion bewerten zu können. Insofern wären die subjektiven Befragungsergebnisse mittels KSS bei einer kürzeren Versuchsdauer eventuell deutlicher ausgefallen, da nach etwa 1,5 Stunden die Probanden bei der Interaktionsfahrt und der Beifahrerfahrt vermutlich ihre Müdigkeit noch niedriger bewertet hätten, als nach über zwei Stunden, jedoch ist aufgrund der redundanten Erhebung mittels vielseitiger Kennwerte der Verlauf der Müdigkeit auch bei dieser Versuchslänge ausreichend aussagekräftig.

Die Durchführung der Versuche mittels Wizard-of-Oz hat insgesamt sehr gut funktioniert und vermittelte den Probanden ein funktionierendes System. Kritisiert werden kann die Sprachausgabe, die mittels einer Software, welche Textskripte in Audiodateien wandelt, erstellt wurde. Diese Sprachausgabe sollte zukünftig von männlichen und weiblichen Sprechern gesprochen werden, um eine naturalistischere Konversation zwischen System und Fahrer zu erzeugen. Weitere Systemverbesserungen, die nicht Teil dieser Ausarbeitung sind, wurden durch offene Fragen von den Probanden erfragt. Diese sind in „Anhang 24: Antworten auf offene Fragen zur Interaktionssystembewertung“ zusammengefasst und werden an dieser Stelle nicht weiter erläutert. Durch ein noch weiter optimiertes System kann jedoch eine höhere Akzeptanz und ein höheres Nutzungserleben bei den Probanden erreicht werden, was wiederum zu Versuchsergebnissen mit einer geringeren Streuung führen könnte.

7.2. Diskussion der Fahrversuchsergebnisse

In den folgenden Unterkapiteln werden zunächst die Ergebnisse inhaltlich diskutiert. Gegliedert ist diese Diskussion nach den Kennwerttypen und nach den zugehörigen Leithypothesen, die als Teil dieser Diskussion geprüft werden. In die Diskussion fließen die Ergebnisse selbst, wie auch die in Kapitel 5.3 zusammengetragenen Erkenntnisse aus vergleichbaren Studien ein. Im Anschluss werden in Unterkapitel 7.4 die Forschungsfragen abschließend beantwortet.

Grundsätzlich kann es bei der Prüfung von übergeordneten Leithypothesen zu Widersprüchen zwischen den untergeordneten Forschungshypothesen kommen, nach Döring und Bortz (2016) ist es Aufgabe des Forschenden, diese Ergebnismuster zu betrachten und ein Gesamtbefund zu erstellen. Dabei besteht die Herausforderung darin, Überinterpretationen und spekulative Post-Hoc-Erklärungen zu vermeiden und die Limitationen der Studie zu beachten.

Im Folgenden soll darauf geachtet werden, dass Leithypothesen nur dann beibehalten werden, wenn alle Unterhypothesen die Leithypothese stützen. Sofern diese Bedingung nicht erfüllt ist, müssen für die Ablehnung der Unterhypothesen objektive und in Teilkapitel 7.1 diskutierte Gründe vorliegen, damit die Leithypothese dennoch beibehalten werden kann (siehe Abbildung 54).

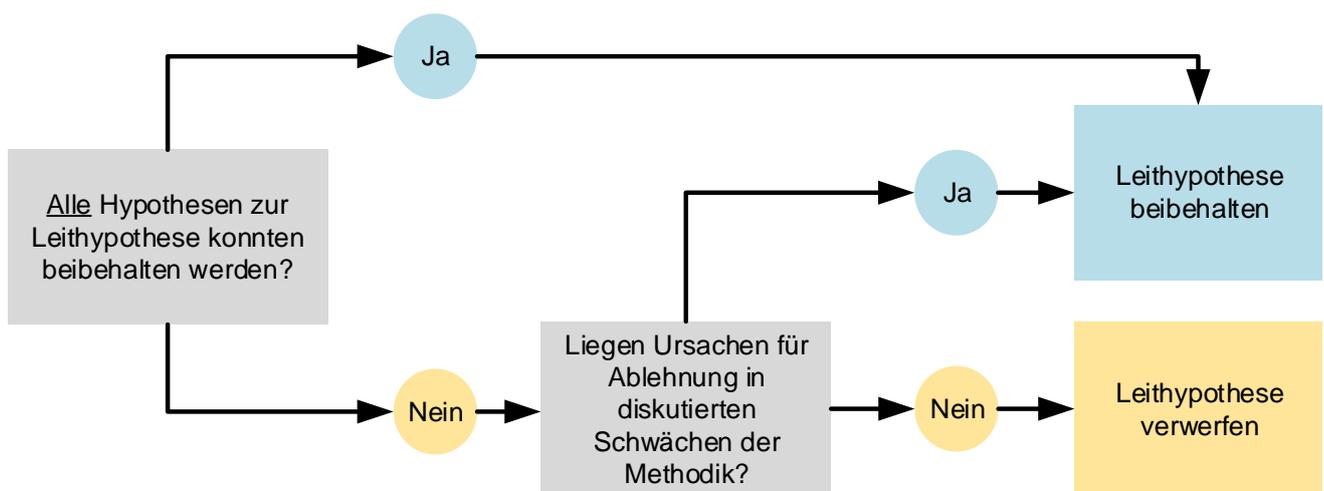


Abbildung 54: Schema zur Diskussion der Leithypothesen

7.2.1. Diskussion der mentalen Beanspruchung

Die erste zur Diskussion stehende Hypothese betrifft den Vergleich zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt hinsichtlich der empfundenen mentalen Beanspruchung der Probanden:

LH1.1: Das Interaktionssystem erhöht die mentale Beanspruchung der Probanden im Vergleich zur Alleinfahrt ohne zu einer Überbeanspruchung zu führen.

Der erste Teil der Hypothese konnte durch die statistische Analyse des Gesamtwertes zunächst formal nicht bestätigt werden, da die Gesamtbewertung der Beanspruchung mittels NASA TLX keine signifikanten Unterschiede zwischen den zwei Fahrten aufweist. Die Bewertung der mentalen Beanspruchung liegt auf beiden Fahrten, wenn auch nur sehr knapp, über dem Wert von 36,77 der zuvor

als Übergangswert zur Unterbeanspruchung definiert wurde. Da dieser Wert über eine Metaanalyse definiert wurde, in die über 237 Studien mit sehr unterschiedlichen Ergebnissen eingeflossen sind (siehe Grier, 2015), ist dieser Wert nicht als feste Grenze zu verstehen. Der Argumentation von Galy et al. (2017) folgend, wurden ohnehin zur Prüfung der Leithypothese auch die einzelnen Dimensionen herangezogen, dabei zeigt sich, dass sich die Bewertungen in den Dimensionen geistige Anforderung, zeitliche Anforderung und Anstrengung signifikant unterscheiden.

Die Tatsache, dass die geistige Anforderung auf der Interaktionsfahrt höher bewertet wurde, spricht dafür, dass der gewünschte Effekt des Systems erreicht wurde und dass die monotone und geistig anspruchslose Situation für den Fahrer durch das Interaktionssystem angereichert wird. Die höhere Bewertung der zeitlichen Anforderung wird so interpretiert, dass der Proband gefühlt innerhalb der definierten Versuchszeit durch die Interaktionen über einen längeren Zeitraum als auf der Alleinfahrt mit einer Aufgabe beschäftigt war. Auch dieser Umstand ist positiv und entspricht der gewünschten Wirkung.

Letztlich wird die Gesamtbewertung der mentalen Beanspruchung auf der Alleinfahrt, durch eine deutlich höhere Bewertung der Dimension Anstrengung, auf ein ähnliches Niveau wie die Gesamtbewertung der Interaktionsfahrt gehoben. Dies erklärt auch, warum letztlich in der Gesamtbewertung keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden konnten. Aufgrund der Tatsache, dass Anstrengung eine eher negative Dimension darstellt und aufgrund der Gesamtbewertung, die auf der Interaktionsfahrt deutlich unter dem Wert des zuvor definierten Bereichs der Überbeanspruchung liegt, wird die Leithypothese LH1.1 somit beibehalten. In weiteren Untersuchungen sollte jedoch die Langversion des NASA-TLX eingesetzt werden, um auch den Gesamtwert aussagekräftiger zu gestalten.

Die zweite Leithypothese zur mentalen Beanspruchung betrifft wiederum den Vergleich zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt:

LH1.2: Das Interaktionssystem erhöht die mentale Beanspruchung in gleicher Weise wie die Kommunikation mit einem Beifahrer.

Der Gesamtwert bestätigt auch in diesem Vergleich nicht die Leithypothese, da die Bewertung der mentalen Beanspruchung auf der Interaktionsfahrt signifikant über der Bewertung der Beifahrerfahrt liegt. Als Ergebnis würde dieser Umstand für das Interaktionssystem sprechen, jedoch müssen auch bei diesem Vergleich die Dimensionen betrachtet werden. Keine Unterschiede wurden bei der geistigen Anforderung und der Anstrengung festgestellt, damit bestätigen sich die hierzu aufgestellten Hypothesen. Die Interaktion mit dem technischen System hat die Probanden folglich in ähnlicher Weise geistig gefordert, wie der Dialog mit einem Beifahrer und dabei zu vergleichbarer Anstrengung geführt, die im unteren Mittelfeld der Skala liegt. Unterschiedlich ist hingegen die Bewertung der Frustration, die bei der Interaktionsfahrt deutlich höher liegt als auf der Beifahrerfahrt. Zur Erklärung werden die offenen Fragen herangezogen (Anhang 24: Antworten auf offene Fragen zur

Interaktionssystembewertung), die den Probanden nach der Nutzung des Interaktionssystem gestellt wurden. Von fast der Hälfte der Probanden wurde mehr Abwechslung in den Aufgaben gewünscht. Im Unterschied zur Interaktionsfahrt, gab es bei der Kommunikation mit dem Beifahrer keine Wiederholung der Themen, dies wird als Erklärung für die geringere Frustration herangezogen, ebenso hat der Beifahrer im Gegensatz zum Interaktionssystem keine Leistungsbewertung vorgenommen. Auch hier finden sich in den freien Kommentaren der Probanden Hinweise darauf, dass das Interaktionssystem die Leistungsbewertung nachvollziehbarer zurückgeben sollte. Eine Anpassung der Punktebewertung könnte folglich zu einer Reduktion der Frustration führen.

Die Leithypothese wird dennoch zunächst abgelehnt, da offensichtlich noch Verbesserungspotentiale am Interaktionssystem bestehen, bis die mentale Beanspruchung auf einem ähnlichen Niveau wie im Gespräch mit dem Beifahrer liegt.

7.2.2. Diskussion der psycho-physiologische Müdigkeitskennwerte

Auch beim Vergleich der psycho-physiologischen Müdigkeit bezieht sich die erste Hypothese zunächst auf den Vergleich zwischen der Interaktionsfahrt und der Alleinfahrt:

LH2.1: Probanden weisen bei Nutzung des Interaktionssystems im Vergleich zur Alleinfahrt weniger Anzeichen psycho-physiologischer Müdigkeit auf, dies zeigt sich vor allem im Versuchszeitraum von unter 2 Stunden, bevor sich die Kennwerte angleichen.

Die eingesetzten Messverfahren zur Erhebung psycho-physiologischen Daten liefern unterschiedlich ausgeprägte Ergebnisse.

Die Bewertung der subjektiven Müdigkeit erfolgte mittels der Differenz der Bewertung der Müdigkeit auf der KSS vor und nach der Versuchsfahrt. Auf der Alleinfahrt liegt diese Differenz mit +2,23 Skalastufen innerhalb des Bereiches der Müdigkeitsbewertung, die in anderen Studien auf vergleichbaren Fahrten ohne Müdigkeitsintervention erhoben wurde (siehe Abschnitt 5.3.2). Auf der Interaktionsfahrt ist die Differenz, mit einer Zunahme um nur 1,35 Skalastufen, nicht nur signifikant geringer als im Vergleich zur Alleinfahrt, sondern auch geringer als die Müdigkeitsentwicklung in vergleichbaren Studien unter Einsatz von Koffein (2,9 Skalastufen - Mets et al. (2011); 3,5 Skalastufen - Reyner und Horne (2000)) oder unter Nutzung des Radios zur Unterhaltung des Fahrers (2,5 Skalastufen - Reyner und Horne (1998)). Auf Basis der subjektiven Müdigkeitsbewertung der Probanden würde die Leithypothese 2.1 folglich beibehalten werden.

Die Herzschlagrate fällt auf der Alleinfahrt im Mittelwert um 6 S/min über die Versuchsdauer ab. Die Entwicklung liegt damit innerhalb des erwarteten Bereichs, da diese Entwicklung in ähnlichen Versuchen identisch verlief (z.B. Lal & Craig, 2002; Schmidt, E. A. et al., 2011, vgl. Abschnitt 5.3.2). Die Interventionen mittels Interaktionssystem oder auch Beifahrer führt jedoch zu keinen davon abweichenden Entwicklungen. Dies ist jedoch bei allen Fahrten größtenteils auf die körperliche

Inaktivität der Probanden zurückzuführen und damit auf die Messgröße selbst (siehe Abschnitt 7.1.1). Die Ergebnisse der Herzschlagratenanalyse fließen aus diesem Grund nicht in die Prüfung der Leithypothese mit ein.

Bei der Interpretation der Standardabweichung der Herzschlagrate steht eine ansteigende SDNN für eine höhere Ermüdung (Larue et al., 2011). Die Verläufe der SDNN und der Gesamtdurchschnitt der beiden Fahrten sind jedoch ebenfalls weitestgehend identisch. Lediglich in Intervall 7 zeigte sich eine signifikant geringere SDNN für die Interaktionsfahrt, dieser Unterschied ist schon in Intervall 6 deskriptiv ersichtlich. Daraus kann zumindest gedeutet werden, dass die Müdigkeit der Probanden zwar über die gesamte Fahrdauer das gleiche Level erreicht, aber das Interaktionssystem das Auftreten von Müdigkeit zumindest verzögert. Da diese Effekte aber nicht über einen längeren Zeitraum anhalten, wird aus Sicht der SDNN die Leithypothese nicht bestätigt.

Die Steigung der Lidschlussfrequenz bezogen auf das erste Intervall zeigt dagegen klare Effekte hinsichtlich der Wirkung des Interaktionssystems. Die Lidschlussfrequenz bleibt auf der Interaktionsfahrt nahezu auf dem Startniveau mit einem Gesamtanstieg von gerade einmal 2%. Im Vergleich nimmt auf der Alleinfahrt die Lidschlussfrequenz um mehr als 20%, zeitweise sogar um über 30% (Intervall 7), zu. Anstiege der Lidschlussfrequenz dieser Größenordnung stehen verglichen mit ähnlichen Untersuchungen für eine deutliche Zunahme der Müdigkeit (Forbes, Katz, Cullen & Deterline, 1958; Körber et al., 2015; Lecret & Pottier, 1971; Stern et al., 1996). Als Erklärung für diesen deutlich positiven Effekt des Interaktionssystems werden die Untersuchungsergebnisse von McIntire, L. K., McKinley, Goodyear und McIntire (2014) herangezogen, die besagen, dass durch die Nutzung des Interaktionssystems und die damit verbundene Darbietung neuer Reize, ein monotoniebedingte Ermüdung der Augen und damit ein Abfall der Vigilanz vermieden wird.

Aus Sicht der Lidschlussanalyse wird die Leithypothese folglich beibehalten.

Die SCL vermag die Leithypothese bei einer ersten Betrachtung der Ergebnisse nicht zu stützen, da das Niveau der SCL in den untersuchten Intervallen bei beiden Fahrten nahezu identisch war. Ein Blick auf den gesamten Verlauf liefert jedoch weitere Informationen. Offensichtlich kommt es zu einer Überlagerung von Einflüssen auf die SCL. Denn während die Werte bei der Alleinfahrt stetig ansteigen und aufgrund des Fehlens weiterer Einflüsse auf einen Anstieg der Müdigkeit geschlossen werden kann, verläuft die SCL bei der Interaktionsfahrt auf einem höheren Niveau startend im ständigen Auf- und Abstieg. Der höhere Hautleitwert ist immer in den Interaktionsintervallen festzustellen. Diese Erhöhungen sind offensichtlich auf die Aufregung bzw. die Anspannung des Probanden während den Interaktionen zurückzuführen (Carter, Durocher, & Kern, 2008; Gimeno, Cerezuela, & Montanes, 2006). Anschließend fällt die SCL jedoch wieder auf ein deutlich niedrigeres Niveau ab. Aufgrund dieses Verhaltens der SCL wurden in einer nachgelagerten Auswertung auch die interaktionsfreien Intervalle 4, 8, 12 und 16 zwischen den Fahrten verglichen, woraus sich in den mittleren Intervallen 8 und 12 schwach signifikante Unterschiede belegen ließen. Es ist anzunehmen, dass die Unterschiede deutlicher

ausfallen würden, wenn eine Überlagerung verschiedener Effekte (z.B. Anspannung/ Aufregung) auf die SCL ausgeschlossen werden könnte.

Zusammengefasst, wird die Leithypothese beibehalten, da durch Betrachtung der KSS, der Lidschlussfrequenz und durch eine angepasste statistische Auswertung der SCL belegt werden kann, dass ein Eintreten von Müdigkeit bis zu Intervall 15 (über 2 Stunden Fahrtzeit) verzögert werden kann. Ferner wird die Eignung der Herzschlagrate zur Beurteilung der Müdigkeit in diesem Fahrversuch in Frage gestellt, da das Herz-Kreislaufsystem insgesamt im Versuch kaum belastet wurde und die Versuche nicht zu einem vollständigen Einschlafen der Probanden führten. Letztlich sinkt die Herzschlagrate aber im Fahrversuch nur in diesem Extremfall noch einmal deutlich ab und liefert nur in diesem Extremfall neue Informationen.

Die zweite Hypothese zur psycho-physiologischen Müdigkeit behandelt der Vergleich der Interaktionsfahrt und der Beifahrerfahrt:

LH2.2: Probanden weisen bei Nutzung des Interaktionssystems und bei der Beifahrerfahrt gleiche Anzeichen psycho-physiologischer Müdigkeit auf.

Die Hypothese muss ebenso wie zuvor vor dem Hintergrund der verschiedenen Messwerte diskutiert werden, wobei aufgrund der zuvor beschriebenen Kritikpunkte auf eine Diskussion der Herzschlagrate verzichtet wird.

Die KSS Bewertung der Subjektiven Müdigkeit mittels KSS ist signifikant unterschiedlich zwischen den Fahrten ausgefallen. Probanden fühlten sich nach der Beifahrerfahrt sogar weniger müde als vor Fahrtantritt. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse der Analyse der SDNN und der SCL, da mit beiden Messverfahren insgesamt kein Unterschied zwischen den Fahrten festgestellt werden konnte. Lediglich in Intervall 7 wurde ein signifikant höherer Hautleitwert auf der Interaktionsfahrt festgestellt, wobei dies sogar für eine geringere Müdigkeit der Probanden sprechen würde.

In ähnlicher Weise stellt es sich für die Lidschlussfrequenz dar, da der Anstieg insgesamt auf der Interaktionsfahrt signifikant niedriger war als auf der Beifahrerfahrt, dies spricht erneut für einen geringeren Müdigkeitsanstieg auf der Interaktionsfahrt. Bei der Intervallbetrachtung bestätigt sich dieser Unterschied jedoch nur zu Beginn der Fahrt (in Intervall 3). Es muss an dieser Stelle berücksichtigt werden, dass die im Vergleich zur technisierten Interaktion, kontinuierlichere verbale Kommunikation mit dem Beifahrer den Lidschlag in stärkerem Maße kontinuierlich erhöht haben kann (Meinold, 2005). Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Gespräch mit zunehmender Dauer zwischen dem Fahrer und dem zuvor unbekanntem Beifahrer vertrauter und reger wurde.

Letztlich stehen die physiologischen Messwerte, die geringere Müdigkeit auf der Interaktionsfahrt erkennen lassen, und die subjektive Befragung, die weniger Müdigkeit auf der Beifahrerfahrt erkennen lässt, leicht gegensätzlich zueinander. Da die Leithypothese wiederum keine Unterschiede postulierte, wird sie beibehalten, da sie nicht eindeutig widerlegt werden kann.

7.2.3. Diskussion der Vigilanz

Auch zur Diskussion der Vigilanz wird zunächst auf den Vergleich der Interaktionsfahrt mit der Beifahrerfahrt eingegangen. Die Leithypothese zu diesem Vergleich lautet:

LH3.1: Probanden weisen bei Nutzung des Interaktionssystems aufgrund geringerer Müdigkeit eine höhere Vigilanz gegenüber der Alleinfahrt auf, dies zeigt sich vor allem im Versuchszeitraum von unter 2 Stunden, bevor sich die Kennwerte angleichen.

Die Auswertung der Abfrage zur Schilderererkennung zeigt, dass die Probanden durch das Interaktionssystem eine höhere Vigilanz für die Fahraufgabe aufwiesen, denn es wurden signifikant mehr Schilder erkannt als auf der Alleinfahrt. Das Bewusstsein für die Fahrzeugumgebung und für aktuelle geltende Verkehrsregeln ist ein wichtiger Bestandteil der Fahraufgabe (Fastenmeier & Gstalter, 2007), insofern zeigt sich, dass durch das Interaktionssystem die Fahrsicherheit erhöht wird.

Bei Betrachtung der Reaktionszeit auf den Wildwechsel bestätigten sich die Vermutung, dass die Probanden nach 2,5 Stunden Fahrzeit ungeachtet der Interaktionsform eine Unterbrechung der Fahraufgabe benötigen. Diese Schlussfolgerung ist darauf zurückzuführen, dass die Reaktionszeiten auf den Wildwechsel am Ende des Fahrversuchs mit knapp 2 Sekunden bei allen Fahrscenarien deutlich höher war, als bei aufmerksamen Fahrern. Die Literatur geht im Vergleich von durchschnittlichen Reaktionszeiten von 1,2-1,4 Sekunden aus (Sohn & Stepleman, 1998; Zhang, Y., Antonsson & Grote, 2006). Auch die Häufigkeit, mit der es bei allen Fahrten, die sich darin nicht signifikant unterschieden, zu einer Kollision mit dem Wildschwein kam, ist mit 30%-37% der Fälle zu hoch, da ein Bremsen rechnerisch in Bezug zur gefahrenen Geschwindigkeit problemlos möglich war. Positiv hervorzuheben ist, dass die Reaktionszeit auf der Interaktionsfahrt nicht signifikant höher war als auf der Alleinfahrt, da zum Zwecke einer kritischen Beurteilung des Systems zeitgleich zum Wildwechsel ein Fahrspiel von den Probanden absolviert wurde. Dies spricht dafür, dass durch den Fahraufgabenbezug der Fahrspiele die selektive Aufmerksamkeit (Hagendorf & Müller, 2011) beim Durchführen der Fahrspiele kein Sicherheitsrisiko darstellt. Dennoch sollte bei einer Umsetzung des Gamification-Ansatzes sichergestellt werden, dass Fahrspiele in Gefahrensituationen umgehend gestoppt werden, um das Sicherheitsrisiko zu minimieren.

Zusammenfassend wird die Leithypothese LH3.1 nach Prüfung der Versuchsergebnisse beibehalten.

Wie zuvor behandelt die zweite Hypothese zur Vigilanz den Vergleich der Interaktionsfahrt zur Beifahrerfahrt:

LH3.2: Probanden weisen bei Nutzung des Interaktionssystems aufgrund geringerer Ablenkung eine höhere Vigilanz gegenüber der Beifahrerfahrt auf.

Die Auswertung der Abfrage zur Schilderererkennung führt zu der Erkenntnis, dass die Probanden bei Nutzung des Interaktionssystems tatsächlich weniger abgelenkt waren bzw. mehr auf die Fahraufgabe

konzentriert waren. Hinsichtlich der Reaktionszeit bestätigte sich dies jedoch nicht. Wie zuvor erwähnt, waren die Reaktionszeiten bei allen Fahrten statistisch nicht verschieden. Ob die Hypothese verworfen oder beibehalten wird, hängt somit von der Gewichtung der zwei verwendeten Vigilanzmaße ab. Da jedoch der Wildwechsel zu einem so späten Zeitpunkt im Fahrversuch simuliert war und die Schilderererkennung im Gegensatz gleichmäßig auf die Versuchsdauer verteilt war, wird der Schilderererkennung zur Beurteilung der Vigilanz mehr Gewicht zugesprochen und die Leithypothese LH3.2 somit beibehalten.

7.2.4. Diskussion der Fahrleistungskennwerte

Als letztes stehen nun die Maße zur Beurteilung der Fahrleistung zur Diskussion. Hinsichtlich des Vergleiches zwischen der Interaktionsfahrt und der Alleinfahrt lautet die Leithypothese:

LH4.1: Die Fahrleistung ist bei Nutzung des Interaktionssystems besser als bei der Alleinfahrt, dies zeigt sich vor allem im Versuchszeitraum von unter 2 Stunden, bevor sich die Kennwerte angleichen.

Der erste Kennwert der Fahrleistung ist die Längsführung oder auch longitudinale Führung, die in dieser Untersuchung über die Geschwindigkeitseinhaltung bewertet wird. Ausgewertet wurde die gefahrene Geschwindigkeit auf den Streckenteilen der Auswertungsintervalle, die eine Sollgeschwindigkeit von 100km/h vorgegeben hatten. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied mit starken Effekten zwischen der Interaktionsfahrt und der Alleinfahrt. Die Geschwindigkeit auf der Interaktionsfahrt liegt ab dem fünften Intervall kontinuierlich im Durchschnitt 2 km/h unter der durchschnittlichen Geschwindigkeit auf der Alleinfahrt. Diese Untersuchungsergebnisse decken sich mit den Erkenntnissen von Gershon et al. (2009), auch in deren Versuchen wurde durch eine Interaktion ein etwa 2 km/h geringerer Anstieg der Geschwindigkeitsüberschreitung erreicht (siehe Abschnitt 5.3.4). Die Mittelwerte der gefahrenen Geschwindigkeit sind darüber hinaus bei der Interaktionsfahrt stabil, während sie bei der Alleinfahrt stetig ansteigen. Auf beiden Fahrten stellte sich allerdings kein Anstieg der Geschwindigkeitsüberschreitung um 10% ein, wie er von Campagne et al. (2004) auf einer ähnlich langen Fahrt ohne Interaktion dokumentiert wurde. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, dass diese die Fahrversuche bei Nacht durchgeführt haben und somit eine Überlagerung monotoniebedingter Müdigkeit und schlafrhythmusbedingter Müdigkeit zu deutlicheren Effekten geführt hat (May & Baldwin, 2009). Letztlich zeigt der Vergleich der gefahrenen Geschwindigkeit in Intervall 15, dass der Effekt des Interaktionssystems auch nach etwa 120 Minuten Fahrtzeit noch anhält, was den zeitlichen Zusatz in der Leithypothese aus Sicht der Längsführung erübrigt, wenn auch nicht widerlegt. Es ist ersichtlich, dass das Interaktionssystem zu einer sichereren Fahrweise beiträgt.

Über die Qualität der Querführung gibt wiederum die Standardabweichung der Lateralposition Aufschluss. Bei der SDLP gibt es signifikante Unterschiede zwischen den Fahrten, wobei die SDLP der Interaktionsfahrt mit starken Effekten niedriger ist, als die der Alleinfahrt. Den Probanden gelang es

folglich, durch die Nutzung des Interaktionssystems, ihre Fahrleistung hinsichtlich der Querführung deutlich zu verbessern. Im Gesamtmittel sind diese Unterschiede nicht so deutlich wie in der Betrachtung der Vergleichsintervalle, dies mag damit zusammenhängen, dass die nicht zu erklärenden Ausschläge (siehe Abschnitt 7.1.1) in den Intervallen 8-10 den Gesamtmittelwert auf allen drei Fahrten verzerren. In den Intervallen 3, 7 und 11 liegt die SDLP auf der Alleinfahrt 0,04-0,09m über der SDLP der Interaktionsfahrt. Diese Unterschiede liegen sogar über dem erwarteten Niveau. Zum Vergleich führte in ähnlich langen Fahrversuchen (siehe Abschnitt 5.3.4):

- die Einnahme von Koffein zu einer Verbesserung der SDLP um 0,02m (Mets et al., 2011),
- eine nicht fahraufgabenbezogene Interaktion zu einer Verbesserung um 0,04m (Gershon et al., 2009)
- und eine natürliche verbale Kommunikation zu einer Verbesserung um 0,07m (Atchley et al., 2014).

Es ist anzumerken, dass in Intervall 15 der Effekt deutlich gesunken ist und die SDLP auf allen Fahrten drastisch ansteigt, es kommt letztlich also zu einer allmählichen Angleichung der SDLP. Das spricht dafür, dass auch bei Nutzung des Interaktionssystems die Fahraufgabe nach über 2 Stunden allmählich unterbrochen werden sollte.

Die Anzahl an Vorfällen spiegelt wieder, inwieweit der stetige Anstieg der SDLP in gefährlichen Fahrsituationen resultieren kann. Im Schnitt haben bei der Alleinfahrt die Probanden fast 55-mal den eigenen Fahrstreifen grundlos mit Vorder- und Hinterrad verlassen. Bei der Interaktionsfahrt kam es zu solchen Vorfällen dagegen nur 33-mal. Ein solches Verlassen des eigenen Fahrstreifens kann zum einen darauf zurückzuführen sein, dass der Proband versucht sich mit gefährlichen Manövern selbst zu unterhalten (Schroeter, Oxtoby, & Johnson, 2014; Steinberger et al., 2017), zum anderen können solche Manöver aber auch durch müdigkeitsbedingte Unaufmerksamkeit hervorgerufen werden (Fairclough & Graham, 1999; Philip, Sagaspe, Moore et al., 2005). Die Auswirkungen einer Fahrt ohne Interaktionssystem, mit einer 60%igen Steigerung der Vorfallzahlen, sind vergleichbar mit den Auswirkungen eines Blutalkoholwertes von 0,7‰ (Fairclough & Graham, 1999).

Die Tatsache, dass auf der Alleinfahrt durch alle Probanden insgesamt 18 Unfälle mit der Mittelleitplanke oder dem Seitengraben verursacht wurden, zeigt die möglichen Folgen solcher Vorfälle und deren Ausmaße. Auf der Interaktionsfahrt konnte dieses Risiko durch die Systemeinführung deutlich gesenkt werden und somit die Fahrsicherheit erhöht werden, denn auf dieser Fahrt kam es zu nur 4 Unfällen.

Die letzte zu prüfende Leithypothese betrifft den Vergleich zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt hinsichtlich der Fahrleistung:

LH4.2: Die Fahrleistung ist bei Nutzung des Interaktionssystems genauso hoch wie bei der Beifahrerfahrt.

Wird die SDLP betrachtet, beziehungsweise die Prüfung der einzelnen Hypothesen, so zeigt sich, dass insgesamt keine Unterschiede in der SDLP zwischen den zwei Fahrten festgestellt werden konnten und auch bei der Intervallbetrachtung wurde lediglich in Auswertungsintervall 11 ein Unterschied erkennbar, der wiederum zugunsten des Interaktionssystems ausfiel.

Dasselbe Bild zeigt sich bei der Betrachtung der Vorfälle und Unfälle, da insbesondere bei Letzteren die Häufigkeit identisch war. Die Fahrleistung der Probanden ist aus Sicht der Querführung auf beiden Fahrten folglich identisch.

Die Längsführung betrachtend, liegen jedoch insgesamt und in allen Vergleichsintervallen Unterschiede vor, da die Probanden auf der Beifahrerfahrt mit der gefahrenen Geschwindigkeit stärker nach oben von der Sollgeschwindigkeit abweichen. Eine mögliche Erklärung für dieses Resultat finden Ingham (1991) und auch Doherty und Andrey & Gregor (1998), die feststellten, dass vor allem jüngere Fahrer durch Geschwindigkeitsüberschreitungen ihren Beifahrern imponieren möchten. Da das Probandenkollektiv ein eher junges war und auch die Beifahrer gerade erst die Volljährigkeit erreicht haben, wird diese Erklärung als wahrscheinlich erachtet.

Insgesamt wird aufgrund der Ergebnisse die Leithypothese LH4.2 abgelehnt, da die Fahrleistung der Probanden mit dem Interaktionssystem insgesamt sogar besser war als mit einem Beifahrer.

7.3. Diskussion des Nutzungserlebens

Die letzten zu diskutierenden Leithypothesen sind die zur ergänzenden Forschungsfrage gehörigen. Die erste Leithypothese bezieht sich auf die subjektiven Befragungsergebnisse zum Nutzungserleben, diese lautet:

LHe.1: Die Probanden bewerten das Nutzungserleben mit dem eingesetzten Interaktionssystem auf Basis von Gamification als positiv.

Das zentrale Item zur Beantwortung der Forschungsfrage ist das Gesamturteil der Probanden, während die übrigen Items Aufschluss darüber geben, wie das Nutzungserleben mit dem Interaktionssystem weiter gesteigert werden kann.

Das Gesamturteil der Probanden zum Nutzungserleben unterschied sich nicht von dem Referenzwert, der wie die übrigen Referenzwerte aus den Bewertungen verbreiteter und viel genutzter Applikationen wie *Netflix*, *Whatsapp*, *Moodle* und *DBNavigator* gebildet wurde. Darüber hinaus ist die Bewertung im deutlich positiven Skalenbereich. Die Leithypothese kann aus diesem Grund beibehalten werden.

Die Bewertung der Dimensionen Benutzbarkeit, Status, Positive Emotionen liegen über bzw. gleichauf mit dem Referenzwert und die negativen Emotionen sind geringer ausgeprägt als der Referenzwert. Diese Dimensionen sind folglich von den Probanden gut bewertet worden. Dennoch bietet die Befragung der Nutzer auch deutliche Hinweise auf Verbesserungspotenziale des Interaktionssystems, um das Nutzungserleben weiter zu steigern.

Die Nützlichkeit wurde von den Probanden zwar durchaus positiv bewertet, jedoch erreichte sie nicht den Referenzwert. Die Items zu dieser Dimension lauten „Die Funktion des Produkts sind genau richtig für meine Ziele“, „Ich halte das Produkt für absolut nützlich“ und „Mithilfe des Produkts kann ich meine Ziele erreichen“, insofern ist es wichtig, dass das Interaktionssystem dem Nutzer vermittelt, dass die Vermeidung der Müdigkeit zur Zielerreichung hinsichtlich der Fahraufgabenerfüllung beiträgt. Dies ist jedoch nicht im Interaktionssystem berücksichtigt und sollte implementiert werden, um die Wahrnehmung der Nützlichkeit zu steigern.

Auch die Hypothese zur visuellen Ästhetik musste verworfen werden, da die Bewertung dieser Dimension nicht ganz den Referenzwert erreichen konnte. In Anbetracht der Attraktivität und der stilistischen Gestaltung ergeben sich folglich noch Verbesserungspotentiale.

Die schwache Bewertung der Produktbindung wiederum überrascht nicht, da die Probanden das Produkt zum ersten Mal benutzt haben und die Items sehr stark und drastisch formuliert sind, wie bereits in Abschnitt 5.3.5 kritisiert wurde.

Die Nutzungsintention ist eine Dimension der Konsequenzen und kann durch eine Anpassung zum Beispiel der Nützlichkeit und der visuellen Ästhetik gesteigert werden, aber auch ein Belohnungssystem für wiederholte Nutzung könnte die Nutzungsintention steigern.

Die nicht besonders hohe Bewertung der Dimension Produktloyalität ist erneut weniger überraschend, da keine Konkurrenzprodukte vorhanden sind, die einen notwendigen Vergleich zur Bewertung der entsprechenden Items (siehe Anhang 6: Fragebogen C - meCUE Fragebogen (Versuchsleiter Version)) zulassen.

Die zweite Leithypothese zur ergänzenden Forschungsfrage lautet:

LHe.2: Die Nutzung des Interaktionssystems wird von den Probanden ernst genommen, dies zeigt sich in einer über den Fahrversuch mindestens konstanten Leistung bei den Gamification-Aufgaben.

Die Nutzung des Interaktionssystems war über die Versuchsdauer mindestens konstant, wie sich in der Annahme aller Hypothesen zur Nutzung gezeigt hat. Die Probanden haben demnach die Gamification-Aufgaben ernst genommen. Die Nutzung ist laut dem CUE-Modell von Thüring und Mahlke (2007) die zentrale Konsequenz eines positiven Nutzungserlebens. Es lässt sich demnach über die konstante beziehungsweise steigende Punktzahl schlussfolgern, dass die Probanden die Gamification-Aufgaben als willkommene Abwechslung in der sonst monotonen Fahraufgabe sehen und mit einem positiven Nutzungserleben verbinden.

7.4. Beantwortung der Forschungsfragen

Zum Abschluss der Diskussion sollen die geprüften Leithypothesen zusammengefasst, zur Beantwortung der Forschungsfragen, herangezogen werden. Die Ergebnisse der Prüfung sind in Abbildung 55 dem in Kapitel 3 aufgestelltem Untersuchungsmodell zugeordnet.

Die erste von zwei zu beantwortenden Forschungsfrage lautet:

FF1: Lässt sich Müdigkeit, aufgrund von Monotonie, bei der Fahrzeugführung durch fahraufgabenbezogene Gamification bei Alleinfahrten vorbeugen?

Aus Abbildung 55 ist ersichtlich, dass alle Leithypothesen zum Vergleich zwischen Interaktionsfahrt und Alleinfahrt angenommen wurden. Es kann somit daraus geschlossen werden, dass das Interaktionssystem in der Lage ist, die mentale Unterbeanspruchung der Probanden zu verringern und somit letztlich zu einer Erhöhung der Fahrleistung beizutragen. Die Müdigkeit aufgrund von Monotonie ließ sich nachweislich bis zu einer Versuchszeit von 2 Stunden verzögern, jedoch letztlich nicht vollständig vermeiden. Aufgrund der Einbindung der Fahraufgabe selbst und ihrer Bestandteile kann die Vigilanz gesteigert werden, was sich in einer besseren Umgebungswahrnehmung ausdrückt. Die Fahrsicherheit wird durch die Gamification des Interaktionssystems nicht gefährdet, wie sich in einem Reaktionstest zeigt. Dennoch soll bei einer Implementierung in Fahrzeuge sichergestellt sein, dass das Interaktionssystem durch eine entsprechende Anbindung an bestehende Warnsysteme in kritischen Situationen umgehend deaktiviert wird.

Die zweite Forschungsfrage adressiert den Vergleich zwischen Interaktionsfahrt und Beifahrerfahrt und lautet:

FF2: Ist das Interaktionssystem in gleicher Weise wie ein Beifahrer geeignet Müdigkeit während monotoner Fahrten vorzubeugen?

Zusammenfassend lässt sich die Forschungsfrage wie folgt beantworten: Die unterschiedlichen Dimensionen des eingesetzten Fragebogens zur Beanspruchungsmessung deuten darauf hin, dass die mentale Beanspruchung durch den Beifahrer für die Fahrzeugführer angenehmer, im Sinne einer geringeren Frustration, ist. Dennoch ist die Entwicklung der Müdigkeit in ähnlicher Weise verzögert gegenüber der Alleinfahrt eingetreten. Durch die von der Fahraufgabe ablenkenden Gespräche mit dem Beifahrer, ist die Vigilanz auf der Interaktionsfahrt jedoch deutlich höher und auch die Fahrleistung ist bei Nutzung des Interaktionssystems im Vergleich zur Beifahrerfahrt besser. Somit lässt sich die Müdigkeit durch einen Beifahrer zwar in gleichem Maße vorbeugen, aber dies zu Lasten der Fahrsicherheit.

Zusätzlich zu den zwei vorherigen Forschungsfragen, die die grundsätzliche Wirkungsweise einer interaktionsbasierten Monotonie-Intervention untersuchten, wurde eine ergänzende Forschungsfrage

formuliert, mit deren Hilfe die gewählte Umsetzung des Gamificationansatzes bewertet werden soll, diese lautet:

eFF: Eignet sich die gewählte Gamification der Fahraufgabe, um beim Nutzer ein positives Nutzungserleben hervorzurufen?

Die Forschungsfrage ist allgemein zu bejahen, da sowohl das Gesamturteil der Probanden zum Nutzungserleben positiv ausfiel als auch die tatsächliche Nutzung des Systems über die Versuchsdauer konstant war. Die tatsächliche Nutzung ist die Konsequenz eines positiven Nutzungserlebens nach dem CUE-Modell (Thüring & Mahlke, 2007). Die Probanden haben folglich den Gamificationansatz angenommen, um der Monotonie entgegenzuwirken und somit in der eigentlichen Fahraufgabe neue Reize zur Aufmerksamkeitserhaltung finden können. Nichtsdestotrotz haben sich aus der Befragung der Probanden Verbesserungspotentiale ergeben, die in eine Weiterentwicklung des Interaktionssystems einfließen sollen.

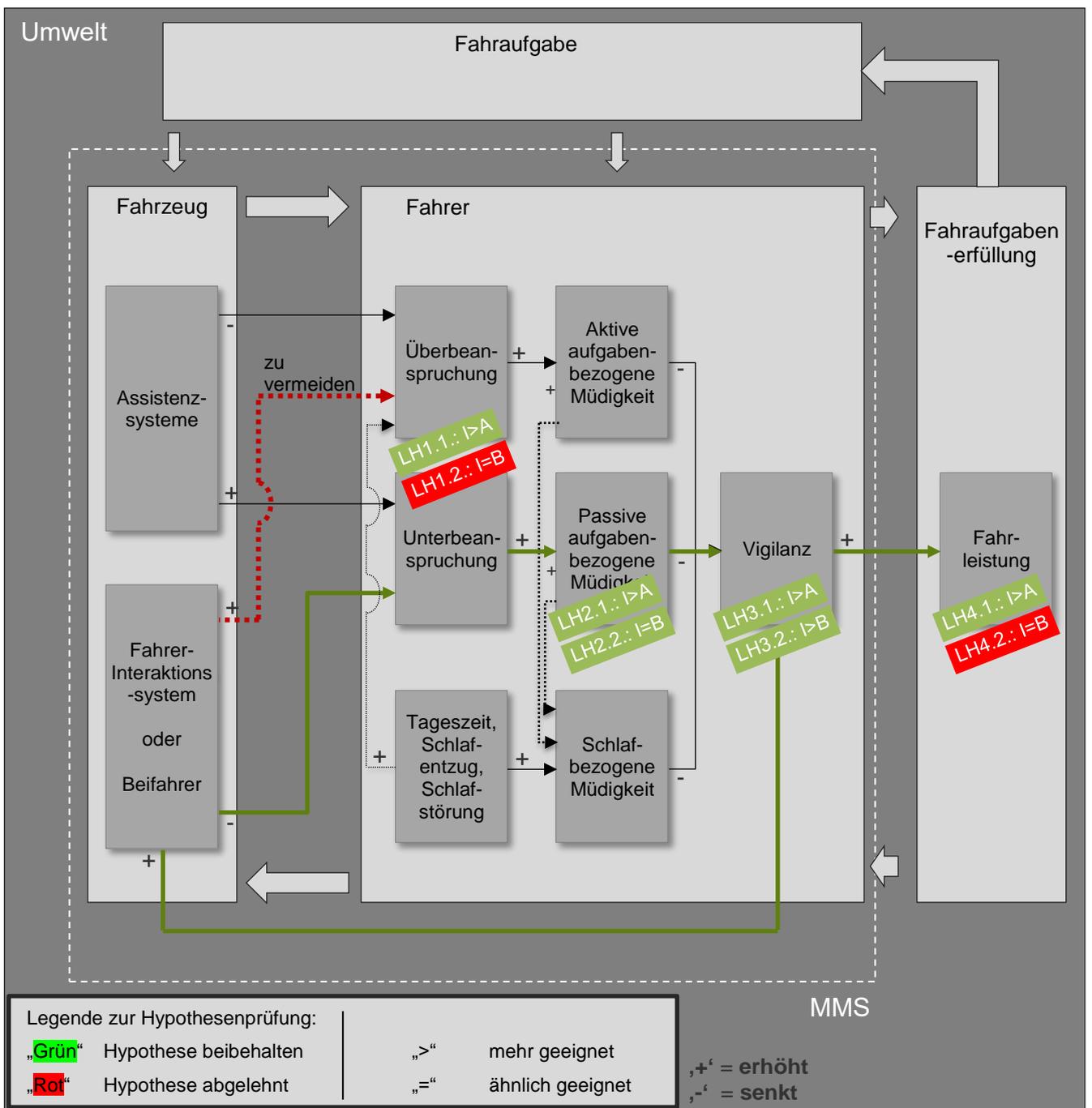


Abbildung 55: Ergebnisdarstellung der Leithypothesenprüfung zur Wirkweise des Beifahrers im Untersuchungsmodell

8. Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, zu untersuchen, ob durch eine Reizanreicherung der Fahraufgabe mittels Gamification die Monotonie bei der Fahrzeugführung verringert und die daraus folgende passive Müdigkeit vorgebeugt werden kann.

In einer umfangreichen Fahrstudie im Fahr Simulator wurde erstmals der Einsatz von Gamification in Langstreckenfahrten mit einer Dauer von über zwanzig Minuten getestet. Jeder der 31 Probanden absolvierte 3 Versuchsfahrten mit einer Fahrdauer von jeweils knapp 2,5 Stunden. Um die Versuchsergebnisse vergleichen zu können, wurde somit nicht nur eine Alleinfahrt als Baselinemessung von Probanden durchgeführt, sondern auch eine Versuchsfahrt mit einem weitestgehend standardisierten Beifahrergespräch. Diese Vorgehensweise sichert, dass die Diskussion der Untersuchungsergebnisse zur Wirksamkeit der technischen Interaktion im Kontrast zu einer naturalistischen und realitätsnahen Interaktion geführt werden konnte.

Im Ergebnis bieten digitale Technologien und der Ansatz der Gamification bisher ungenutzte Möglichkeit, den Fahrer dauerhaft in die Fahraufgabe einzubinden und damit die Sicherheit zu erhöhen. Diese Arbeit präsentiert hierzu empirische Daten, die für eine Verringerung der subjektiv eingeschätzten und objektiv messbaren Müdigkeit unter Einsatz des Interaktionssystems sprechen.

Die untersuchte Intervention trug des Weiteren zu einer signifikanten Reduzierung der Fahrunfälle und zu einer signifikanten Geschwindigkeitsreduzierung bei und fördert auch in anderen Aspekten eine sichere Fahrweise.

Die Untersuchungsergebnisse sprechen ebenfalls für eine erhöhte Aufmerksamkeit auf die primäre Fahraufgabe durch die Interaktion mit Fahraufgabenbezug, was sich in einem Vigilanztest zur Umgebungswahrnehmung zeigt.

Die durch die Gamification dargebotenen Stimuli können also dazu beitragen, die Aufmerksamkeit und Erregung während einer Langstreckenfahrt aufrechtzuerhalten. Im Vergleich zu Stimuli, die durch eine Kommunikation mit einem Beifahrer hervorgerufen werden, sind diese durch die Gamification gebotenen Stimuli auf die Fahraufgabe selbst gerichtet. Die eigentliche Fahraufgabe wird folglich für die Fahrer wieder reizvoller. Zusätzlich ist anzumerken, dass die Interaktion mit dem Beifahrer so konzipiert war, dass Meinungsverschiedenheiten weitestgehend ausgeschlossen waren. Im realen Umfeld des Fahrers hingegen birgt die Kommunikation, je nach Grad der Meinungsverschiedenheit, jedoch immer auch ein erhöhtes Risiko, den Fahrer von der Fahraufgabe abzulenken.

Ausblickend auf zukünftige Forschungsaktivitäten und auf den Einsatz im kommerziellen Personenverkehr bietet die vorliegende Arbeit ein Konzept, das weiter ausgebaut und untersucht werden sollte.

Die Versuchsergebnisse und die Befragung der Probanden deuten darauf hin, dass eine Minimierung der Intervallabstände zwischen einsetzenden Interaktionen die Wirkung und das Engagement erhöhen kann. Auch wenn das Interaktionssystem insgesamt von den Probanden sehr positiv bewertet wurde, ist für einen dauerhaften Einsatz eine größere Variation der Quizfragen und Fahrspiele notwendig. Untersuchungen zu Gamification in anderen Bereichen zeigen, dass eine langfristige Bindung der Nutzer auch durch das Sammeln von Abzeichen, die eine fortwährende Nutzung belohnen, zielführend ist. Durch die Vernetzung von Fahrzeugen bietet die Gamification auch die Möglichkeit, eine besonders sichere Fahrweise zum Gegenstand eines Wettbewerbs im sozialen Umfeld des Fahrers zu erheben. Ferner muss auch im Realverkehr die Wirkdauer untersucht werden, die im Simulatorversuch auf ungefähr 120 Minuten Fahrtzeit beschränkt war. Es ist nicht auszuschließen, dass im Realverkehr die Wirkdauer höher liegen kann, da Monotonie im Realverkehr eher phasenweise eintritt und das Aufkommen von Müdigkeit, im Vergleich zu Simulatorversuch, verzögert erfolgt. Umsetzungen des Interaktionskonzeptes in der Praxis müssen sicherstellen, dass der Einsatz von Interaktionen in kritischen Verkehrssituationen unterbunden beziehungsweise unterbrochen wird. Dies kann durch eine Anbindung des Interaktionssystems an die Umgebungssensorik und bestehende Assistenzsysteme der Fahrzeuge gewährleistet werden. Diese Anbindung ist jedoch für die Funktionalität eines Interaktionssystems ohnehin erforderlich.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit.....	4
Abbildung 2: Abgrenzungen zum Ermüdungsbegriff nach Luczak (1983)	6
Abbildung 3: Abstrahierte Darstellung des zirkadianen Rhythmus am Beispiel der physiologischen Leistungsbereitschaft (aus Schlick, Bruder & Luczak, 2018).....	7
Abbildung 4: Müdigkeitsmodell nach May und Baldwin (2009) erweitert durch Schmidt, E. Andreas (2010).....	8
Abbildung 5: Der Zusammenhang zwischen Aktivierungsniveau, mentaler Beanspruchung und Leistung (nach Young, Brookhuis, Wickens & Hancock, 2015).....	10
Abbildung 6: Flussdiagramm der Literaturrecherche nach definierten Such- und Ausschlusskriterien (vgl. Bier, Wolf et al., 2018)	12
Abbildung 7: Kategorien von Messmethoden zur Ermittlung von Müdigkeit bei der Fahrzeugführung (vgl. Bier, Wolf et al., 2018; Sahayadhas et al., 2012)	13
Abbildung 8: Verteilung der Studien nach Versuchssetup (links) und nach Fahrversuchsdauer (rechts; Bier, Wolf et al., 2018)	14
Abbildung 9: Einflüsse des Beifahrers auf den Fahrer und deren Relevanz für den Vergleich zu technischen Interaktionssystemen.....	22
Abbildung 10: Das Mensch-Maschine System nach Bubb (1992) bezogen auf die Fahrzeugführung in Anlehnung an Breuer (1996)	25
Abbildung 11: Untersuchungsmodell zur Wirkweise des Fahrerinteraktionssystems (Bier & Bruder, 2017)	27
Abbildung 12: Wirkweise des Beifahrers im Kontext der Fahrmüdigkeit	27
Abbildung 13: Der menschenzentrierte Gestaltungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210	28
Abbildung 14: Feedback über HUD (links) und Mittelkonsole (rechts) während dem Fahrspiel "Abstand halten"	31
Abbildung 15: Feedback über HUD (links) während Quizfragen und Feedback über Mittelkonsole (rechts) zum aktuellen Punktestand	31
Abbildung 16: Wizard-of-Oz Versuchsaufbau.....	32
Abbildung 17: Aufteilung der Axure Oberfläche (links) und beispielhafte Ansicht für das Fahrspiel Schilderererkennung (rechts)	33
Abbildung 18: Beispielhafte Abbildung der Fahrstrecke - Überland (links) - Ländlich (mittig) - Ortsdurchfahrt mit Lärmschutz (rechts)	40
Abbildung 19: vereinfachte Darstellung des Streckenverlaufs (Mitte) mit Darstellung des linksseitigen (Oben) und des rechtsseitigen (Unten) Landschaftstyps	41

Abbildung 20: Verteilung des Probandenkollektives (n= 31) nach Geschlecht (links) und nach Alter und Geschlecht (rechts).....	42
Abbildung 21: Schematischer Aufbau der sechs Projektionsflächen (links; Bier et al. 2018) und Abbildung des Fahrzeug-Mock-Ups (rechts; Foto: Sebastian Keuth).....	43
Abbildung 22: Veranschaulichung zweier R-Zackenabstände zwischen 3 Herzschlägen dargestellt im EKG als R-Zacken (links) Klebepunkte der EKG-Elektroden auf dem Oberkörper (rechts)	48
Abbildung 23: Vorbefragung zur Qualifizierung zum Schildererkenngfragebogen	52
Abbildung 24: Maximal akzeptable SDLP in Abhängigkeit der gewählten Fahrspur auf dem Fahrstreifen	55
Abbildung 25: CUE-Model des Nutzungserlebens nach Thüning und Mahlke (2007).....	58
Abbildung 26: Zuordnung der Dimensionen des meCUE- Fragebogens zu dessen fünf Modulen	58
Abbildung 27: Ablaufplan der Fahrversuche (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt I = Interaktionsfahrt)	62
Abbildung 28: SILAB Zeitstempel Proband 11 Beifahrerfahrt.....	64
Abbildung 29: Auswertungsintervalle (grün) und Vergleichsintervalle für statistische Analysen (rot) .65	
Abbildung 30: Querführungsrelevante Streckencharakteristik des Auswertintervalls 2.....	66
Abbildung 31: Intervallaufteilung in 100 km/h- und 120 km/h-Zonen	68
Abbildung 32: Schematische Geschwindigkeitsübergänge innerhalb eines Intervalls.....	68
Abbildung 33: Entscheidungsdiagramm zur statistischen Auswertung in Anlehnung an (Blankenberger & Vorberg, 1998)	77
Abbildung 34: Deskriptive Ergebnisdarstellung der erhobenen mentalen Beanspruchung mittels NASA-TLX als Gesamtwert und als Teilergebnisse nach Dimensionen (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	80
Abbildung 35: Deskriptive Ergebnisdarstellung der mittels KSS (Skala 1-9) erhobenen Veränderung der subjektiven Müdigkeit als Differenzen (links) und als Ausgangs und Endzustand (rechts; A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	82
Abbildung 36: Deskriptive Ergebnisdarstellung der über die Versuchsdauer gemittelten SCL (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	84
Abbildung 37: Deskriptive Ergebnisdarstellung des Verlaufs der über die Probanden gemittelten SCL über die Versuchsdauer (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	85
Abbildung 38: Deskriptive Ergebnisdarstellung der Herzschlagrate gemittelt über die gesamte Versuchszeit über alle Probanden (links) und gemittelt innerhalb der Vergleichsintervalle über alle Probanden (rechts; A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	88
Abbildung 39: Deskriptive Ergebnisdarstellung der über die Versuchsdauer gemittelten SDNN (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	90

Abbildung 40: Deskriptive Ergebnisdarstellung des Verlaufs der SDNN über die Versuchsdauer (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	91
Abbildung 41: Deskriptive Ergebnisdarstellung der Änderung der Lidschlussfrequenz bezogen auf das erste Intervall (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	94
Abbildung 42: Deskriptive Verlaufsdarstellung der Änderung der Lidschlussfrequenz bezogen auf das erste Intervall (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt; in den mit * markierte Intervallen fand die technische Interaktion statt)	95
Abbildung 43: Deskriptive Ergebnisdarstellung der Änderung der korrekt identifizierten Verkehrsschilder im direkten Anschluss an die Versuchsfahrten (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	97
Abbildung 44: Deskriptive Ergebnisdarstellung der Reaktionszeiten auf den Wildwechsel (links) und die aufsummierte Anzahl an Kollisionen über alle Probanden (rechts; A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	99
Abbildung 45: Deskriptive Ergebnisdarstellung der durchschnittlichen, über die Versuchsdauer gefahrenen Geschwindigkeit (in 100km/h Zonen; A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	101
Abbildung 46: Deskriptive Verlaufsdarstellung der in 100km/h Zonen durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt; in den mit * markierte Intervallen fand die technische Interaktion statt)	102
Abbildung 47: Deskriptive Ergebnisdarstellung der durchschnittlichen Standardabweichung der lateralen Position; A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	105
Abbildung 48: Deskriptive Verlaufsdarstellung der Standardabweichung der lateralen Position (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt; in den mit * markierte Intervallen fand die technische Interaktion statt)	106
Abbildung 49: Deskriptive Ergebnisdarstellung der Anzahl an Vorfällen je Proband (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	109
Abbildung 50: Deskriptive Darstellung der gesamten, über alle Probanden aufsummierten Anzahl an Unfällen (links), der Unfälle mit der Mittelleitplanke (Mitte) und mit dem Straßengraben (rechts; A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	110
Abbildung 51: Deskriptive Darstellung der Anzahl an Unfallverursachern je Fahrscenario (A = Alleinfahrt, B = Beifahrerfahrt, I = Interaktionsfahrt)	110
Abbildung 52: Deskriptive Darstellung der meCUE- Befragungsergebnisse zum Nutzungserleben mit dem entwickelten Interaktionssystem auf Gamificationbasis	113
Abbildung 53: Deskriptive Darstellung der bei den Gamification-Aufgaben erbrachten Leistung	115
Abbildung 54: Schema zur Diskussion der Leithypothesen	124

Abbildung 55: Ergebnisdarstellung der Leithypothesenprüfung zur Wirkweise des Beifahrers im Untersuchungsmodell.....	136
Abbildung 56: Geschwindigkeitsentwicklung infolge einer Richtgeschwindigkeitsänderung von 120 km/h auf 100 km/h (n=31).....	199
Abbildung 57: Geschwindigkeitsentwicklung infolge einer Richtgeschwindigkeitsänderung von 100 km/h auf 120 km/h (n=31).....	199

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Tabellarische Darstellung der Einsatzhäufigkeit und der Bewertung von Messmethoden auf Basis des Literaturreviews von Bier und Wolf et al. (2018)	14
Tabelle 2: Stand der Forschung zum Einfluss der Interaktion, Kommunikation und Gamification auf die Fahrleistung bzw Müdigkeit	19
Tabelle 3: Grenzwerte eines monotonen Streckendesigns	39
Tabelle 4: Entwicklung der Selbsteinschätzung mit der Karolinska-Sleepiness-Scale über den Zeitraum von 120min im Fahrversuch	46
Tabelle 5: Entwicklung der HR und der IBI in unterschiedlichen Fahrversuchen	48
Tabelle 6: Entwicklung der SDNN in unterschiedlichen Fahrversuchen.....	49
Tabelle 7: Entwicklung der Lidschlussfrequenz in unterschiedlichen Fahrversuchen	50
Tabelle 8: Beeinflussende Faktoren und deren Auswirkung auf die Lidschlussfrequenz im Fahrversuch (auf Grundlage von Hargutt, 2003; Meinold, 2005; Schmidt, D., 2008; Stern et al., 1996).....	50
Tabelle 9: Auf Versuchsstrecke deplatzierte Verkehrsschilder zur Vigilanzfassung in drei Signalstufen	52
Tabelle 10: Entwicklung der Geschwindigkeit in unterschiedlichen Fahrversuchen.....	54
Tabelle 11: Entwicklung der Standardabweichung der Lateralposition (SDLP) in unterschiedlichen Fahrversuchen.....	56
Tabelle 12: Entwicklung der Vorfälle in unterschiedlichen Fahrversuchen	57
Tabelle 13: Bewertung des Nutzungserlebens unterschiedlicher Produkte (grün hinterlegt sind relevante Produkte zum Ergebnisvergleich)	60
Tabelle 14: Detaillierung der Leithypothese LH1.1	70
Tabelle 15: Detaillierung der Leithypothese LH1.2	70
Tabelle 16: Detaillierung der Leithypothese LH2.1	71
Tabelle 17: Detaillierung der Leithypothese LH2.2	71
Tabelle 18: Detaillierung der Leithypothese LH3.1	72
Tabelle 19: Detaillierung der Leithypothese LH3.2	72
Tabelle 20: Detaillierung der Leithypothese LH4.1	73
Tabelle 21: Detaillierung der Leithypothese LH4.2	73
Tabelle 22: Detaillierung der Leithypothese LHe.1.....	74
Tabelle 23: Detaillierung der Leithypothese LHe.2.....	75
Tabelle 24: Klassifizierung der Effektstärke nach Cohen, J. (1988)	77
Tabelle 25: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der mentalen Beanspruchung.....	80

Tabelle 26: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die mentale Beanspruchung (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%)	81
Tabelle 27: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Veränderung der subjektiven Müdigkeit erhoben mittels KSS	83
Tabelle 28: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die subjektive Müdigkeitsbewertung mittels KSS (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%).....	83
Tabelle 29: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich des tonischen Hautleitwerts (SCL).....	87
Tabelle 30: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für den Hautleitwert SCL (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%)	87
Tabelle 31: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Herzschlagrate (HR).....	89
Tabelle 32: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für Herzschlagrate (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%)	89
Tabelle 33: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Standardabweichung der R-Zackenabstände (SDNN)	92
Tabelle 34: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für psychophysiologische Müdigkeitsbewertung mittel SDNN (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%).....	92
Tabelle 35: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Änderung der Lidschlussfrequenz	96
Tabelle 36: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für psychophysiologische Müdigkeitsbewertung mittel LSF (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%; die orange hinterlegte Zelle zeigt an, dass ein Signifikanzniveau von nur 10% vorliegt)	97
Tabelle 37: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Schilderkennungsrate	98
Tabelle 38: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse zum Vigilanztest „Schilderererkennung“ (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%)	98
Tabelle 39: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Reaktionszeit und Kollisionsraten	99

Tabelle 40: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse zum Vigilanztest „Wildwechsel“ (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%)	100
Tabelle 41: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit [MS]	103
Tabelle 42: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die mittlere gefahrene Geschwindigkeit (MS; die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%; die orange hinterlegte Zelle zeigt an, dass ein Signifikanzniveau von nur 10% vorliegt)	104
Tabelle 43: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Standardabweichung der lateralen Position (SDLP)	108
Tabelle 44: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die Standardabweichung der lateralen Position (SDLP; die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%; die orange hinterlegte Zelle zeigt an, dass ein Signifikanzniveau von nur 10% vorliegt)	108
Tabelle 45: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der Vorfal- und Unfallzahlen im Fahrversuch	111
Tabelle 46: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die Vorfal- und Unfallzahlen im Fahrversuch (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%; die orange hinterlegte Zelle zeigt an, dass ein Signifikanzniveau von nur 10% vorliegt)	111
Tabelle 47: Tabellarische Darstellung der inferenzstatistischen Ergebnisse zum Vergleich der meCUE-Befragungsergebnisse mit zuvor festgelegten Referenzwerten (blau hinterlegt sind Tendenzen, die für eine positive Produktbewertung stehen)	114
Tabelle 48: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die Bewertung des Nutzungserlebens mittels des meCUE Fragebogens (die grün hinterlegten Zellen stehen für die Beibehaltung der Hypothese auf einem Mindest-Signifikanzniveau von 5%; die orange hinterlegte Zelle zeigt an, dass ein Signifikanzniveau von nur 10% vorliegt)	114
Tabelle 49: Tabellarische Darstellung der bei den Gamification-Aufgaben erbrachten Leistung in den Vergleichsintervallen	115
Tabelle 50: Ergebnis einseitige ANOVA mit Messwiederholung zum Vergleich der Sessionergebnisse	116
Tabelle 51: Ergebnis der Post-Hoc Analyse mit Bonferroni-Korrektur zum Vergleich der Sessionergebnisse	117
Tabelle 52: Zusammenfassende Darstellung der Hypothesen und statistischen Ergebnisse für die Bewertung der Nutzung des Interaktionssystems	117



Literaturverzeichnis

- Åkerstedt, T., Anund, A., Axelsson, J. & Kecklund, G. (2014). Subjective sleepiness is a sensitive indicator of insufficient sleep and impaired waking function. *Journal of sleep research*, 23 (3), 240-252.
- Åkerstedt, T. & Gillberg, M. (1990). Subjective and Objective Sleepiness in the Active Individual. *International Journal of Neuroscience*, 52 (1-2), 29-37.
- Åkerstedt, T., Peters, B., Anund, A. & Kecklund, G. (2005). Impaired alertness and performance driving home from the night shift: a driving simulator study. *Journal of sleep research*, 14 (1), 17-20.
- Al-Houqani, M., Eid, H. O. & Abu-Zidan, F. M. (2013). Sleep-related collisions in United Arab Emirates. *Accident; analysis and prevention*, 50, 1052-1055.
- Anund, A., Kecklund, G., Vadeby, A., Hjälm Dahl, M. & Åkerstedt, T. (2008). The alerting effect of hitting a rumble strip—a simulator study with sleepy drivers. *Accident; analysis and prevention*, 40 (6), 1970-1976.
- Arnedt, J.T., Wilde, G. J.S., Munt, P. W. & MacLean, A. W. (2000). Simulated Driving Performance Following Prolonged Wakefulness and Alcohol Consumption. Separate and Combined Contributions to Impairment. *Journal of sleep research*, 9 (3), 233-241.
- Arnedt, J.T., Wilde, G. J.S., Munt, P. W. & MacLean, A. W. (2001). How do prolonged wakefulness and alcohol compare in the decrements they produce on a simulated driving task? *Accident Analysis & Prevention*, 33 (3), 337-344.
- Atchley, P. & Chan, M. (2011). Potential Benefits and Costs of Concurrent Task Engagement to Maintain Vigilance. A Driving Simulator Investigation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53 (1), 3-12.
- Atchley, P., Chan, M. & Gregersen, S. (2014). A Strategically Timed Verbal Task Improves Performance and Neurophysiological Alertness during Fatiguing Drives. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56 (3), 453-462.
- Atchley, P., Dressel, J., Jones, T. C., Burson, R. A. & Marshall, D. (2011). Talking and driving: applications of crossmodal action reveal a special role for spatial language. *Psychological research*, 75 (6), 525-534.
- Bach, W. E. & Müller, H. A. (1981). Beifahrer und Mitfahrer im Straßenverkehr - Risikofaktoren oder Sicherheitsfaktoren? Eine Diskussion auf gruppentheoretischer Basis. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 27 (2), 60-64.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19 (6), 775-779.

-
- Banks, V. A. & Stanton, N. A. (2019). Analysis of driver roles: modelling the changing role of the driver in automated driving systems using EAST. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 9 (2), 1-17.
- Benedetto, S., Pedrotti, M., Minin, L., Baccino, T., Re, A. & Montanari, R. (2011). Driver workload and eye blink duration. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14 (3), 199-208.
- Bernsen, N. O., Dybkjaer, H. & Dybkjaer, L. (1994). Wizard of Oz Prototyping: When and how? *CCI Working Papers in Cognitive Science and HCI, WPCS-94-1*.
- Bier, L. & Bruder, R. (2017). Der technische Beifahrer zur Vorbeugung monotoniebedingter Müdigkeit. In *Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels - kreativ, innovativ, sinnhaft*. 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft : FHNW Brugg-Windisch, Schweiz, 15.-17. Februar 2017 (F.1.2). Dortmund: GfA-Press.
- Bier, L., Joisten, P. & Abendroth, B. (2019). Warum nutzt der Mensch bevorzugt das Auto als Verkehrsmittel? Eine Analyse zum erlebten Fahrspaß unterschiedlicher Verkehrsmittelnutzer. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, (article in press).
- Bier, L., Negash, S. & Pommeranz, T. (2018). Preventing monotony caused fatigue with Driver-Vehicle-Interaction – A design concept. In *Arbeit(s).Wissenschaft(f) – Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung*. 64. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft : Frankfurt, 21.-23. Februar 2018 (B.4.2). Dortmund: GfA-Press.
- Bier, Lukas; Wolf, Philipp; Hilsenbek, Hanna; Abendroth, Bettina (2018): How to measure monotony-related fatigue? A systematic review of fatigue measurement methods for use on driving tests. In: *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 52 (1), S. 1–38. DOI: 10.1080/1463922X.2018.1529204.
- Blankenberger, S. & Vorberg, D. (1998). *Die Auswahl statistischer Tests und Maße. Flussdiagramm*, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Technischen Universität Braunschweig. Halle-Wittenberg, Braunschweig.
- BMVI. (2010). *Mobilität in Deutschland 2008. Kurzbericht: Struktur - Aufkommen - Emissionen - Trends* (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hrsg.). : infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH. Zugriff am 30.11.2018. Verfügbar unter <http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/mid2008-publikationen.html>
- BMVI. (2018). *Mobilität in Deutschland 2017. Kurzreport: Verkehrsaufkommen - Struktur - Trends* (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hrsg.). : infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH. Zugriff am 30.11.2018. Verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/mobilitaet-in-deutschland.html>
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Mit 163 Tabellen* (7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Berlin: Springer.

-
- Boucsein, W. (2012). *Electrodermal Activity*. Boston, MA: Springer Science+Business Media LLC.
- Boucsein, W., Fowles, D. C., Grimnes, S., Ben-Shakhar, G., Roth, W. T., Dawson, M. E. et al. (2012). Publication recommendations for electrodermal measurements. *Psychophysiology*, 49 (8), 1017-1034.
- Boyle, L. N., Tippin, J., Paul, A. & Rizzo, M. (2008). Driver Performance in the Moments Surrounding a Microsleep. *Transportation Research, Part F*, 11 (2), 126-136.
- Braithwaite, J. J., Watson, D. G., Jones, R. & Rowe, M. (2015). *A Guide for Analysing Electrodermal Activity (EDA) & Skin Conductance Responses (SCRs) for Psychological Experiments. via the BIOPAC MP36R & AcqKnowledge software* (2. Aufl.) (Technical Report: Selective Attention & Awareness Laboratory (SAAL)). Birmingham, UK: Behavioural Brain Sciences Centre, University of Birmingham. Zugriff am 21.09.2018. Verfügbar unter <https://www.biopac.com/wp-content/uploads/EDA-SCR-Analysis.pdf>
- Breuer, J. (1996). *Ergonomische Beurteilung und Gestaltung der Sicherheit des Arbeitssystems Kraftfahrzeugführen*. Dissertation, Technische Universität Darmstadt. Düsseldorf: VDI-Verl.
- Brookhuis, K. A., Vries, G. de & Waard, D. d. (1991). The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 23 (4), 309-316.
- Brooks, J. O., Crisler, M. C., Klein, N., Goodenough, R., Beeco, R. W., Guirl, C. et al. (2011). Speed choice and driving performance in simulated foggy conditions. *Accident; analysis and prevention*, 43 (3), 698-705.
- Brooks, J. O., Goodenough, R. R., Crisler, M. C., Klein, N. D., Alley, R. L., Koon, B. L. et al. (2010). Simulator sickness during driving simulation studies. *Accident; analysis and prevention*, 42 (3), 788-796.
- Bubb, H. (1992). *Menschliche Zuverlässigkeit, Definitionen, Zusammenhänge, Bewertung*. Landsberg: Ecomed.
- Bubb, H. (2003). Wie viele Probanden braucht man für allgemeine Erkenntnisse aus Fahrversuchen? In K. Landau & H. Winner (Hrsg.), *Fahrversuche mit Probanden - Nutzwert und Risiko. Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug, Technische Universität Darmstadt, 3./4. April 2003* (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12, Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik, Bd. 557, Als Ms. gedr, S. 26-39). Düsseldorf: VDI-Verl.
- Bubb, H. (2015). Der Mensch als Fahrer. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (S. 67-162). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/der-mensch-als-fahrer/4461520>
- Burdett, B. R.D., Charlton, S. G. & Starkey, N. J. (2018). Inside the commuting driver's wandering mind. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 57, 59-74.

-
- Caird, J. K., Willness, C. R., Steel, P. & Scialfa, C. (2008). A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance. *Accident Analysis & Prevention*, 40 (4), 311-318.
- Campagne, A., Pebayle, T. & Muzet, A. (2004). Correlation between driving errors and vigilance level. Influence of the driver's age. *Physiology & behavior*, 80 (4), 515-524.
- Cegovnik, T., Stojmenova, K., Jakus, G. & Sodnik, J. (2018). An analysis of the suitability of a low-cost eye tracker for assessing the cognitive load of drivers. *Applied ergonomics*, 68, 1-11.
- Chipman, M. & Jin, Y. L. (2009). Drowsy drivers. The effect of light and circadian rhythm on crash occurrence. *Safety Science*, 47 (10), 1364-1370.
- Chowdhury, A., Shankaran, R., Kavakli, M. & Haque, M. M. (2018). Sensor Applications and Physiological Features in Drivers' Drowsiness Detection: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 18 (8), 3055-3067.
- Cicchino, J. B. (2017). Effectiveness of forward collision warning and autonomous emergency braking systems in reducing front-to-rear crash rates. *Accident; analysis and prevention*, 99 (Pt A), 142-152.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cooper, M. D. (2000). Towards a model of safety culture. *Safety Science*, 36 (2), 111-136.
- Coughlin, J. F., Reimer, B. & Mehler, B. (2011). Monitoring, Managing, and Motivating Driver Safety and Well-Being. *IEEE Pervasive Computing*, 10 (3), 14-21.
- DaCoTA. (2012). *Fatigue. Deliverable 4.8h of the EC FP7 Project DaCoTA*. : European Commission Directorate General for Mobility & Transport (Hg.). Zugriff am 16.10.2016.
- Dahlbäck, N., Jönsson, A. & Ahrenberg, L. (1993). *Wizard of Oz - Why and how*. Linköping, Sweden: Natural Language Processing Laboratory, Department of Computer and Information Science.
- Dawson, D. & Reid, K. (1997). Fatigue, Alcohol and Performance Impairment. *Nature*, 388, 235.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness. In A. Lugmayr, H. Franssila, C. Safran & I. Hammouda (Hrsg.), *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference on Envisioning Future Media Environments - MindTrek*, 11 (S. 9). New York, New York, USA: ACM Press.
- Deutscher Verkehrssicherheitsrat. (2016). *EU-Kommission: Bis 2050 keine Verkehrstoten mehr – Fahrerassistenzsysteme sollen helfen*. Zugriff am 05.03.2019. Verfügbar unter https://www.dvr.de/presse/informationen/eu-kommission-bis-2050-keine-verkehrstoten-mehr--fahrerassistenzsysteme-sollen-helfen_id-4741.html
- Dey, A. & Mann, D. D. (2010). Sensitivity and diagnosticity of NASA-TLX and simplified SWAT to assess the mental workload associated with operating an agricultural sprayer. *Ergonomics*, 53 (7), 848-857.

-
- Diewald, S., Möller, A., Roalter, L., Stockinger, T. & Kranz, M. (2013). Gameful design in the automotive domain. In J. Terken (Hrsg.), *Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 262-265). Eindhoven, the Netherlands.
- Dinges, D. F. (1995). An Overview of Sleepiness and Accidents. *Journal of sleep research*, 4 (Supplement s2), 4-14.
- Dixon, W. J. & Yuen, K. K. (1974). Trimming and winsorization: A review. *Statistische Hefte*, 15 (2-3), 157-170.
- Doherty & Andrey & Gregor (1998). The Situational Risks of young Drivers: The Influence of Passengers, Time of Day and Day of Week on Accident Rates. In Elsevier B.V. (Hrsg.), *Accident Analysis and Prevention* (30 (1), S. 45-52). Philadelphia: Elsevier B.V.
- Doria, L., Minge, M., Riedel, L. & Kraft, M. (2013). User-Centred Evaluation of Lower-Limb Orthoses: A new Approach. *Biomedizinische Technik. Biomedical engineering*, 58 Suppl 1.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (Springer-Lehrbuch, 5. vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage). Berlin: Springer. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- Drews, F. A., Pasupathi, M. & Strayer, D. L. (2008). Passenger and Cell Phone Conversations in Simulated Driving. *American Psychological Association (Hg.) 2008 – Journal of Experimental Psychology*, 14 (4), 392-400.
- Drory, A. (1982). Individual differences in boredom proneness and task effectiveness at work. *Personnel Psychology*, 35 (1), 141-151.
- Dureman, E. I. & Boden, C. (1972). Fatigue in simulated car driving. *Ergonomics*, 15 (3), 299-308.
- Ebermann, H.-J. & Scheiderer, J. (Eds.). (2013). *Human factors on the flight deck. Safe piloting behaviour in practice*. Heidelberg, DE: Springer. Verfügbar unter <http://lib.myilibrary.com/detail.asp?id=425815>
- Ellinghaus, D. & Schlag, B. (2001). *Beifahrer. Eine Untersuchung über die psychologischen und soziologischen Aspekte des Zusammenspiels von Fahrer und Beifahrer*. Köln: UNIROYAL-Verkehrsuntersuchung. Zugriff am 14.12.2015. Verfügbar unter http://www.uniroyal-tyres.com/generator/www/de/en/uniroyal/automobile/themes/05_downloads/02_traffic_studies/download/verkehrsuntersuchung26_en.pdf
- Endsley, M. R. (1988). Situation awareness global assessment technique (SAGAT). In *IEEE 1988 National Aerospace and Electronics Conference* (S. 789-795).
- Engström, I., Gregersen, N. P., Granström, K. & Nyberg, A. (2008). Young drivers—reduced crash risk with passengers in the vehicle. *Accident Analysis & Prevention*, 40 (1), 341-348.

-
- Eoh, H. J., Chung, M. K. & Kim, S.-H. (2005). Electroencephalographic study of drowsiness in simulated driving with sleep deprivation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35 (4), 307-320.
- ISO 10075-2:1996 (1996-12). *Ergonomic principles related to mental workload—Part 2: Design principles*.
- DIN EN ISO, 9241-210 (2011). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010); Deutsche Fassung EN ISO 9241-210:2010*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Evers, C. & Auerbach, K. (2006). Übermüdung als Ursache schwerer Lkw-Unfälle. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 52 (2), 67-70.
- Fairclough, S. H. & Graham, R. (1999). Impairment of Driving Performance Caused by Sleep Deprivation or Alcohol. A Comparative Study. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 41 (1), 118-128.
- Farahmand, B. & Boroujerdian, A. M. (2018). Effect of road geometry on driver fatigue in monotonous environments: A simulator study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 640-651.
- Fastenmeier, W. & Gstalter, H. (2007). Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice. *Safety Science*, 45 (9), 952-979.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS. (and sex and drugs and rock ,n' roll)* (3. ed.). Los Angeles Calif. u.a.: SAGE.
- Forbes, T. W., Katz, M. S., Cullen, J. W. & Deterline, W. A. (1958). Sleep Deprivation Effects on Components of Driving Behavior. *Highway Res Abstracts Hwy Res Board*, 28 (1), 21-26.
- Forsman, P. M., Vila, B. J., Short, R. A., Mott, C. G. & van Dongen, H. P. A. (2013). Efficient driver drowsiness detection at moderate levels of drowsiness. *Accident; analysis and prevention*, 50, 341-350.
- Galy, E., Paxion, J. & Berthelon, C. (2017). Measuring mental workload with the NASA-TLX needs to examine each dimension rather than relying on the global score: an example with driving. *Ergonomics*, 61 (4), 517-527.
- García, I., Bronte, S., Bergasa, L. M., Almazán, J. & Yebes, J. (2012). Vision-Based Drowsiness Detector for Real Driving Conditions. *2012 Intelligent Vehicles Symposium, de Henares, Spain, June 3-7 2012*, 618-623.
- Gastaldi, M., Rossi, R. & Gecchele, G. (2014). Effects of Driver Task-related Fatigue on Driving Performance. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111, 955-964.

-
- Gershon, P., Ronen, A., Oron-Gilad, T. & Shinar, D. (2009). The effects of an interactive cognitive task (ICT) in suppressing fatigue symptoms in driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12 (1), 21-28.
- Giesa, H.-G. (2003). *Die Bewertung der Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen* (Berichte aus dem Zentrum Mensch-Maschine-Systeme der Technischen Universität Berlin, Bd. 17, Als Ms. gedr). Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 2003. Düsseldorf: VDI-Verl.
- Gille, H. G., Otto, O. & Ullsperger, P. (1977). Aktivierungsabhängigkeit, Anforderungsspezifität und Zeitverhalten physiologischer und psychologischer Variablen bei gestuften Leistungsanforderungen im Rahmen des Konzentrationsleistungstests. *Zeitschrift für Psychologie*, 185.
- Glendon, A. I., Hoyes, T. W., Haigney, D. E. & Taylor, R. G. (1996). A review of risk homeostasis theory in simulated environments. *Safety Science*, 22 (1-3), 15-25.
- Gouraud, J., Delorme, A. & Berberian, B. (2017). Autopilot, Mind Wandering, and the Out of the Loop Performance Problem. *Frontiers in neuroscience*, 11, 541.
- Greenlee, E. T., DeLucia, P. R. & Newton, D. C. (2018). Driver Vigilance in Automated Vehicles: Hazard Detection Failures Are a Matter of Time. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 60 (4), 465-476.
- Greschner, U. (2011). Experimentelle Untersuchung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen, 511. Dissertation, Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Grier, R. A. (2015). How High is High? A Meta-Analysis of NASA-TLX Global Workload Scores. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 59 (1), 1727-1731.
- Hacker, W. & Richter, P. (1984). *Psychische Fehlbeanspruchung. Psychische Ermüdung, Monotonie, Sättigung und Streß* (Spezielle Arbeits- und Ingenieurpsychologie in Einzeldarstellungen, Bd. 2, Zweite, veränderte und ergänzte Auflage). Berlin: Springer. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-87990-6>
- Hagendorf, H. & Müller, H. J. (2011). *Wahrnehmung und Aufmerksamkeit* (1. Auflage). Berlin: Springer.
- Haider, E. & Rohmert, W. (1976). Untersuchungen zur Lidschlussfrequenz bei vierstündiger simulierter Kraftfahrzeugfahrt. *European Journal of Applied Physiology*, 137-147.
- Hajdinjak, M. & Mihelic, F. (Hrsg.). (2003). *Wizard of Oz experiments* (Bd. 2). The IEEE Region 8 EUROCON 2003. Computer as a Tool.
- Hanks, W. A., Driggs, X. A., Lindsay, G. B. & Merrill, R. M. (1999). An examination of common coping strategies used to combat driver fatigue. *Journal of American College Health*, 48 (3), 135-137.
- Hargutt, V. (2003). *Das Lidschlussverhalten als Indikator für Aufmerksamkeits- und Müdigkeitsprozesse bei Arbeitshandlungen*. Dissertation. Würzburg.

-
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (Advances in Psychology, v. 52, 1st ed., Bd. 52, pp. 139-183). s.l.: Elsevier textbooks.
- Hayami, T., Matsunaga, K., Shidoji, K. & Matsuki, Y. (2002). Detecting drowsiness while driving by measuring eye movement- a pilot study. *Intelligent Transportation Systems*.
- Heenan, A., Herdman, C. M., Brown, M. S. & Robert, N. (2014). Effects of Conversation on Situation Awareness and Working Memory in Simulated Driving. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56 (6), 1077-1092.
- Heine, T., Lenis, G., Reichensperger, P., Beran, T., Doessel, O. & Deml, B. (2017). Electrocardiographic features for the measurement of drivers' mental workload. *Applied ergonomics*, 61, 31-43.
- Heitmann, A., Guttkuhn, R., Aguirre, A., Trutschel, U. & Moore-Ede, M. (2001). Technologies for the monitoring and prevention of driver fatigue. *Proceedings of the First International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 81-86.
- Hinderks, A., Schrepp, M. & Thomaschewski, J. (2018). *Vergleich von UX Fragebögen: Evaluationsbericht von Whatsapp, Netflix und Moodle mit meCUE, Visawi und UEQ*. Researchgate: University of Seville.
- Hoddes, E., Dement, W. C. & Zarcone, V. (1972). The development and use of the Stanford Sleepiness Scale. *Psychophysiology*, 9, 150.
- Hoffmann, S. & Buld, S. (2006). *Darstellung und Evaluation eines Trainings zum Fahren in der Fahrsimulation Driving in a Simulator. Design and Evaluation of a Training Programme*.
- Horne, J. & Reyner, L. (2001). Sleep-related vehicle accidents: some guides for road safety policies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 4 (1), 63-74.
- Horne, J. A. & Baulk, S. D. (2004). Awareness of sleepiness when driving. *Psychophysiology*, 41 (1), 161-165.
- Horne, J. A. & Reyner, L. A. (1996). Counteracting driver sleepiness: Effects of napping, caffeine, and placebo. Effects of Napping, Caffeine, and Placebo. *Psychophysiology*, 33 (3), 306-309.
- Hu, S. & Zheng, G. (2009). Driver drowsiness detection with eyelid related parameters by Support Vector Machine. *Expert Systems with Applications*, 36 (4), 7651-7658.
- Ingham, R. (1991). The effects of age, sex, time pressure and passengers on self-reported driving violations. In *International Conference on traffic Safety, Proceedings* (S. 248-251).

-
- Ingre, M., Åkerstedt, T., Peters, B., Anund, A. & Kecklund, G. (2006). Subjective sleepiness, simulated driving performance and blink duration: examining individual differences. *Journal of sleep research*, 15 (1), 47-53.
- Jermakian, J. S. (2011). Crash avoidance potential of four passenger vehicle technologies. *Accident; analysis and prevention*, 43 (3), 732-740.
- Johns, M. W. (1991). A New Method for Measuring Daytime Sleepiness. The Epworth Sleepiness Scale. *Sleep*, 14 (6), 540-545.
- Kahneman, D., Beatty, J. & Pollack, I. (1967). Perceptual Deficit during a Mental Task. *Science (New York, N.Y.)*, 157 (3785), 218-219.
- Karrer, K., Vöhringer-Kuhnt, T., Baumgarten, T. & Briest, S. (2004). *The role of individual differences in driver fatigue prediction*. 3rd International Conference on Traffic & Transport Psychology, Nottingham. Zugriff am 15.11.2018. Verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/237302397> The role of individual differences in driver fatigue prediction
- Karrer-Gauß, K. (2011, 13. Oktober). *Prospektive Bewertung von Systemen zur Müdigkeitserkennung. Ableitung von Gestaltungsempfehlungen zur Vermeidung von Risikokompensation aus empirischen Untersuchungen*. Dissertation, Technische Universität Berlin. Berlin. Zugriff am 07.10.2016. Verfügbar unter https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/3482/1/Dokument_1.pdf
- Kecklund, G., Åkerstedt, T., Sandberg, D., Wahde, M., Dukic, T., Anund, A. et al. (2006). *State of the art review of driver sleepiness. DROWSI project report*. Stockholm.
- Klauer, S. G., Neale, V. L., Dingus, T. A., Sudweeks, J. D. & Ramsey, D. J. (2005). *The Prevalence of Driver Fatigue in an Urban Driving Environment: Results from the 100-Car Naturalistic Driving Study*. Blacksburg, Virginia: Virginia Tech Transportation Institute. Zugriff am 27.07.2017. Verfügbar unter http://erso.swov.nl/knowledge/Fixed/55_fatigue/ref%2059%20klauer%202005.pdf
- Knapper, A., Christoph, M., Hagenzieker, M. & Brookhuis, K. A. (2015). Comparing a driving simulator to the real road regarding distracted driving speed. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 15.
- Körber, M., Cingel, A., Zimmermann, M. & Bengler, K. (2015). Vigilance Decrement and Passive Fatigue Caused by Monotony in Automated Driving. *Procedia Manufacturing*, 3, 2403-2409.
- Kuhr, C. V. (2013). *Measuring the User Experience of Mobile Applications – an Empirical Validation of a Quantitative Method*. Masterthesis (online publiziert), Technische Universität Berlin. Berlin. Zugriff am 31.01.2019. Verfügbar unter http://mecue.de/Homepage%20Content/02%20Links%20&%20Literatur/MA_Kuhr.pdf

-
- Kunar, M. A., Carter, R., Cohen, M. & Horowitz, T. S. (2008). Telephone conversation impairs sustained visual attention via a central bottleneck. *Psychonomic bulletin & review*, 15 (6), 1135-1140.
- Kyriakidis, M., Winter, J. C. F. de, Stanton, N., Bellet, T., van Arem, B., Brookhuis, K. A. et al. (2017). A human factors perspective on automated driving. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 53, 1-27.
- Laborde, S., Mosley, E. & Thayer, J. F. (2017). Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. *Frontiers in Psychology*, 8.
- Lal, S. K. L. & Craig, A. (2002). Driver Fatigue. Electroencephalography and Psychological Assessment. *Psychophysiology*, 39 (3), 313-321.
- Lallemand, C. & Koenig, V. (2017). How Could an Intranet be Like a Friend to Me? In Unknown (Hrsg.), *Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics 2017* (S. 9-16). New York, NY: ACM.
- Langer, I., Abendroth, B. & Bruder, R. (2012). Fahrerzustandserkennung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (ATZ, S. 687-699). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag; Wiesbaden : Imprint: Springer Vieweg.
- Large, D. R., Burnett, G., Antrobus, V. & Skrypchuk, L. (2018). Driven to discussion: engaging drivers in conversation with a digital assistant as a countermeasure to passive task-related fatigue. *IET Intelligent Transport Systems*, 12 (6), 420-426.
- Larue, G. S., Rakotonirainy, A. & Pettitt, A. N. (2011). Driving performance impairments due to hypovigilance on monotonous roads. *Accident; analysis and prevention*, 43 (6), 2037-2046.
- Lavie, N., Hirst, A., Fockert, J. W. de & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of experimental psychology. General*, 133 (3), 339-354.
- Lecret, F. & Pottier, M. (1971). La Vigilance, Facteur De Sécurité Dans La Conduite Automobile. *Le Travail Humain*, 34 (1), 51-68. Verfügbar unter <http://www.istor.org/stable/40659794>
- Lee, C. & Abdel-Aty, M. (2008). Presence of passengers: does it increase or reduce driver's crash potential? *Accident; analysis and prevention*, 40 (5), 1703-1712.
- Lenné, M. G., Triggs, T. J. & Redman, J. R. (1997). Time of day variations in driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 29 (4), 431-437.
- Liu, C. C., Hosking, S. G. & Lenné, M. G. (2009). Predicting Driver Drowsiness Using Vehicle Measures. Recent Insights and Future Challenges. *Journal of safety research*, 40 (4), 239-245.

-
- Liu, S. (2015). *An experimental study of driver fatigue: Subjective driver fatigue score, driving performance, and driver fatigue countermeasures*. Dissertation, McMaster University. Hamilton, Ontario. Zugriff am 17.09.2016.
- Luczak, H. (1975). *Untersuchungen informatorischer Belastung und Beanspruchung des Menschen* (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften / Reihe 10 Angewandte Informatik, Elektronische Datenverarbeitung, Bd. 2). Zugl.: Darmstadt, Techn. Hochsch., Diss., 1974. Düsseldorf: VDI-Verl.
- Luczak, H. (1983). Ermüdung. In Rohmert, W., Rutenfranz, J. (Hrsg.), *Praktische Arbeitsphysiologie* (3. neubearbeitete Auflage, S. 71-86). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Lykken, D. T. & Venables, P. H. (1971). Direct measurement of skin conductance: a proposal for standardization. *Psychophysiology*, 8 (5), 656-672.
- Mackworth, N. H. (1948). The Breakdown of Vigilance during Prolonged Visual Search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1 (1), 6-21.
- MacLean, A. W., Davies, D. R.T. & Thiele, K. (2003). The hazards and prevention of driving while sleepy. *Sleep Medicine Reviews*, 7 (6), 507-521.
- Maffei, A. & Angrilli, A. (2018). Spontaneous eye blink rate. An index of dopaminergic component of sustained attention and fatigue. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 123, 58-63.
- Mahdiani, S., Jeyhani, V., Peltokangas, M. & Vehkaoja, A. (2015). Is 50 Hz high enough ECG sampling frequency for accurate HRV analysis? *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2015*, 5948-5951.
- Markey, A., Chin, A., Vanepps, E. M. & Loewenstein, G. (2014). Identifying a reliable boredom induction. *Perceptual and motor skills*, 119 (1), 237-253.
- May, J. F. & Baldwin, C. L. (2009). Driver fatigue. The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12 (3), 218-224.
- McIntire, L. K., McKinley, R. A., Goodyear, C. & McIntire, J. P. (2014). Detection of vigilance performance using eye blinks. *Applied ergonomics*, 45 (2), 354-362.
- Meinold, P. E. (2005). *Psychologie des Lidschlags. -eine literatur- und methodenkritische Studie*. Inaugural-Dissertation, Universität zu Köln. Köln. Zugriff am 24.03.2018. Verfügbar unter <http://kups.ub.uni-koeln.de/1677/>
- Merat, N. & Jamson, A. H. (2013). The effect of three low-cost engineering treatments on driver fatigue: A driving simulator study. *Accident; analysis and prevention*, 50, 8-15.

-
- Mets, M. A. J., Ketzer, S., Blom, C., van Gerven, M. H., van Willigenburg, G. M., Olivier, B. et al. (2011). Positive effects of Red Bull® Energy Drink on driving performance during prolonged driving. *Psychopharmacology*, 214 (3), 737-745.
- Mikula, G., Uray, H. & Schwinger, T. (1976). Die Entwicklung einer deutschen Fassung der Mehrabian Achievement Risk Preference Scale. *Diagnostica* (22), 87-97.
- Milosevic, S. (1997). Drivers' fatigue studies. *Ergonomics*, 40 (3), 381-389.
- Minge, M., Riedel, L. & Thüring, M. (2013). *meCUE 2.0. Modular evaluation of key Components of User Experience*. Zugriff am 06.05.2018. Verfügbar unter <http://mecue.de/home/autoren.html>
- Minge, M., Thüring, M., Wagner, I. & Kuhr, C. V. (2017). The meCUE Questionnaire: A Modular Tool for Measuring User Experience. In M. Soares, C. Falcão & T. Z. Ahram (Hrsg.), *Advances in Ergonomics Modeling, Usability & Special Populations* (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 486, S. 115-128). Cham: Springer International Publishing.
- Moller, H. J., Kayumov, L., Bulmash, E. L., Nhan, J. & Shapiro, C. M. (2006). Simulator performance, microsleep episodes, and subjective sleepiness: normative data using convergent methodologies to assess driver drowsiness. *Journal of psychosomatic research*, 61 (3), 335-342.
- Morales, J. M., Díaz-Piedra, C., Rieiro, H., Roca-González, J., Romero, S., Catena, A. et al. (2017). Monitoring driver fatigue using a single-channel electroencephalographic device. A validation study by gaze-based, driving performance, and subjective data. *Accident Analysis & Prevention*, 109, 62-69.
- Muehlhan, M., Marxen, M., Landsiedel, J., Malberg, H. & Zaunseder, S. (2014). The effect of body posture on cognitive performance: a question of sleep quality. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 171.
- Mueller, A. S. & Trick, L. M. (2012). Driving in fog: the effects of driving experience and visibility on speed compensation and hazard avoidance. *Accident; analysis and prevention*, 48, 472-479.
- Natrop, J. (2015). *Angewandte deskriptive Statistik. Praxisbezogenes Lehrbuch mit Fallbeispielen* (De Gruyter Studium). Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg. Verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=984349>
- Nerdinger, F. W., Blickle, G. & Schaper, N. (2008). *Arbeits- und Organisationspsychologie. Mit 32 Tabellen ; [Bachelor, Master* (Springer-Lehrbuch). Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Neubauer, C. (2014). *Alertness Maintaining Tasks: A Fatigue Countermeasure During Vehicle Automation?* Dissertation, University of Cincinnati. Cincinnati. Zugriff am 11.03.2019. Verfügbar unter https://etd.ohiolink.edu/pg_10?::NO:10:P10_ETD_SUBID:93478

-
- Neubauer, C., Matthews, G., Langheim, L. & Saxby, D. (2012). Fatigue and Voluntary Utilization of Automation in Simulated Driving. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54 (5), 734-746.
- Ni, R., Bian, Z., Guindon, A. & Andersen, G. J. (2012). Aging and the detection of imminent collisions under simulated fog conditions. *Accident; analysis and prevention*, 49, 525-531.
- Nilsson, T., Nelson, T. M. & Carlson, D. (1997). Development of fatigue symptoms during simulated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 29 (4), 479-488.
- Nisbett, R. E. & Wilson, T. D. (1977). Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84 (3), 231-259.
- Nowosielski, R. J., Trick, L. M. & Toxopeus, R. (2018). Good distractions. Testing the effects of listening to an audiobook on driving performance in simple and complex road environments. *Accident Analysis & Prevention*, 111, 202-209.
- Oron-Gilad, T., Ronen, A. & Shinar, D. (2008). Alertness maintaining tasks (AMTs) while driving. *Accident Analysis & Prevention*, 40 (3), 851-860.
- Otmani, S., Pebayle, T., Roge, J. & Muzet, A. (2005). Effect of driving duration and partial sleep deprivation on subsequent alertness and performance of car drivers. *Physiology & behavior*, 84 (5), 715-724.
- Ouimet, M. C., Pradhan, A. K., Brooks-Russell, A., Ehsani, J. P., Berbiche, D. & Simons-Morton, B. G. (2015). Young Drivers and Their Passengers: A Systematic Review of Epidemiological Studies on Crash Risk. *The Journal of adolescent health : official publication of the Society for Adolescent Medicine*, 57 (1 Suppl), S24-35.e6.
- Ouimet, M. C., Simons-Morton, B. G., Zador, P. L., Lerner, N. D., Freedman, M., Duncan, G. D. et al. (2010). Using the U.S. National Household Travel Survey to estimate the impact of passenger characteristics on young drivers' relative risk of fatal crash involvement. *Accident; analysis and prevention*, 42 (2), 689-694.
- Pack, A. I., Pack, A. M., Rodgman, E., Cucchiara, A., Dinges, D. F. & Schwab, C.W. (1995). Characteristics of crashes attributed to the driver having fallen asleep. *Accident Analysis & Prevention*, 27 (6), 769-775.
- Paul, A., Boyle, L. N., Tippin, j. & Rizzo, M. (2005). Variability of Driving Performance during Microsleeps. *Proceedings of the Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 18-24.
- Penzel, T., Kantelhardt, J. W., Bartsch, R. P., Riedl, M., Kraemer, J. F., Wessel, N. et al. (2016). Modulations of Heart Rate, ECG, and Cardio-Respiratory Coupling Observed in Polysomnography. *Frontiers in physiology*, 7, 460.

-
- Peter, J. (2007). *Objektive Schläfrigkeitsmessung unter Alkoholeinfluss*. Inaugural-Dissertation, Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Mainz. Zugriff am 24.03.2018. Verfügbar unter https://publications.ub.uni-mainz.de/theses/frontdoor.php?source_opus=1594
- Pfaff, U., Fruhstrofer, H. & Peter, J. H. (1976). Changes in eye-blink duration and frequency during car driving. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, 362 (S1), R5-R53.
- Philip, P., Sagaspe, P., Moore, N., Taillard, J., Charles, A., Guilleminault, C. et al. (2005). Fatigue, sleep restriction and driving performance. *Accident; analysis and prevention*, 37 (3), 473-478.
- Philip, P., Sagaspe, P., Taillard, J., Valtat, C., Moore, N., Åkerstedt, T. et al. (2005). Fatigue, Sleepiness, and Performance in Simulated versus Real Driving Conditions. *Sleep*, 28 (12), 1511-1516.
- Platho, C., Pietrek, A. & Kolrep, H. (2013). *Erfassung der Fahrermüdigkeit* (Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen : F, Fahrzeugtechnik, Bd. 89). Bremen: Schünemann.
- Popp, R. F.J. (2006). *Gegenmaßnahmen bei Schläfrigkeit: Der Effekt von kurzweiligem Licht und olfaktorischer Stimulation*. Dissertation, Universität Regensburg. Regensburg. Verfügbar unter <https://epub.uni-regensburg.de/10381/>
- Poudel, G. R., Innes, C. R. H., Bones, P. J., Watts, R. & Jones, R. D. (2014). Losing the struggle to stay awake: divergent thalamic and cortical activity during microsleeps. *Human brain mapping*, 35 (1), 257-269.
- Radun, I. & Radun, J. E. (2009). Convicted of fatigued driving: who, why and how? *Accident; analysis and prevention*, 41 (4), 869-875.
- Ranney, T. A., Harbluk, J. L. & Noy, Y. I. (2005). Effects of Voice Technology on Test Track Driving Performance. Implications for Driver Distraction. *Human Factors*, 47 (2), 439-454.
- Recarte, M. A. & Nunes, L. M. (2003). Mental workload while driving. Effects on visual search, discrimination, and decision making. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9 (2), 119-137.
- Regan, M. A. & Mitsopoulos, E. (2001). *Understanding Passenger Influences on Driver Behaviour: Implications for Road Safety and Recommendations for Countermeasure Development* (ReportNo.:180). : Monash University, Accident Research Centre.
- Reid, G. B. & Nygren, T. E. (1988). The Subjective Workload Assessment Technique: A Scaling Procedure for Measuring Mental Workload. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (Advances in Psychology, v. 52, 1st ed., Bd. 52, pp. 185-218). s.l.: Elsevier textbooks.
- Reimer, B., Mehler, B., Coughlin, J. F., Roy, N. & Dusek, J. A. (2011). The impact of a naturalistic hands-free cellular phone task on heart rate and simulated driving performance in two age groups. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14 (1), 13-25.

-
- Reitter, C. (2000). *Beanspruchung des Autofahrers durch Monotonie. Eine Untersuchung mit blick- und lidmotorischen Parametern*. Dissertation. Berlin.
- Reyner, L. A. & Horne, J. A. (1998). Evaluation „in-car“ countermeasures to sleepiness: cold air and radio. *Sleep*, 21 (1), 46-50.
- Reyner, L. A. & Horne, J. A. (2000). Early Morning Driver Sleepiness. Effectiveness of 200 mg Caffeine. *Psychophysiology*, 37 (2), 251-266.
- Rimini-Doering, M., Manstetten, D., Altmueller, T., Ladstaetter, U. & Mahler, M. (2001). Monitoring Driver Drowsiness and Stress in a Driving Simulator. In *Proceedings of the First International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (S. 58-63). Zugriff am 12.10.2016.
- Rohmert, W. (1984). Belastung-Beanspruchungs-Konzept. *Z. arb. Wiss.*, 38 pp. 193-200.
- Rose, A. (2006). *Unterschiede physiologischer Indikatoren des Fahrerzustandes zwischen Real- und Simulatorfahrt* (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12, Verkehrstechnik, Fahrzeugtechnik, Bd. 625, Als Ms. gedr). Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 2005. Düsseldorf: VDI-Verl.
- Rossi, R., Gastaldi, M. & Gecchele, G. (2011). Analysis of driver task-related fatigue using driving simulator experiments. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 20, 666-675.
- Rubio, S., Diaz, E., Martin, J. & Puente, J. M. (2004). Evaluation of Subjective Mental Workload: A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods. *Applied Psychology*, 53 (1), 61-86.
- SAE. (2014). *J3016 Automated Driving. Levels of driving automation are defined in new SAE International Standard J3016*.
- Sahayadhas, A., Sundaraj, K. & Murugappan, M. (2012). Detecting Driver Drowsiness Based on Sensors. A Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 12 (12), 16937-16953.
- Saxby, D., Matthews, G., Hitchcock, E. & Warm, J. (2007). Development of active and passive fatigue manipulations using a driving simulator. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 51st Annual Meeting*, 1237-1241.
- Schandry, R. (2011). *Biologische Psychologie. [mit Online-Materialien]* (Grundlagen Psychologie, 3., vollst. überarb. Aufl.). Weinheim: Beltz. Verfügbar unter http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783621278447
- Schlick, C., Bruder, R. & Luczak, H. (2018). *Arbeitswissenschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schmidt, D. (2008). *Tipps und Tricks für den Augenarzt*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

-
- Schmidt, E. & Bullinger, A. C. (2017). Mitigating passive fatigue during monotonous drives with thermal stimuli. Insights into the effect of different stimulation durations. *Accident; analysis and prevention* (Epub ahead of press).
- Schmidt, E. A. (2010). *Die objektive Erfassung von Müdigkeit während monotoner Tagfahrten und deren verbale Selbsteinschätzung durch den Fahrer*. Dissertation, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. Düsseldorf. Zugriff am 30.09.2016. Verfügbar unter https://docserv.uni-duesseldorf.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-16540/Schmidt_2010_Diss_pdf1a.pdf
- Schmidt, E. A., Schrauf, M., Simon, M., Buchner, A. & Kincses, W. E. (2011). The short-term effect of verbally assessing drivers' state on vigilance indices during monotonous daytime driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14 (3), 251-260.
- Schmidtke, H. (1965). *Die Ermüdung. Symptome, Theorien, Messversuche*. Bern: Hans Huber Verlag.
- Schömig, N., Hargutt, V., Neukum, A., Petermann-Stock, I. & Othersen, I. (2015). The Interaction Between Highly Automated Driving and the Development of Drowsiness. *Procedia Manufacturing*, 3, 6652-6659.
- Schramm, T., Fuchs, K., Wagner, N. & Bruder, R. (2009). Driver Behaviour in a monotonous Environment. A Test Track Study. *16th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*.
- Schroeter, R., Oxtoby, J., Johnson, D. & Steinberger, F. (2015). Exploring Boredom Proneness as a Predictor of Mobile Phone Use in the Car. In B. Ploderer, M. Carter, M. Gibbs, W. Smith & F. Vetere (Hrsg.), *Proceedings of the Annual Meeting of the Australian Special Interest Group for Computer Human Interaction* (S. 465-473). New York, NY: ACM.
- Seaborn, K. & Fels, D. I. (2015). Gamification in theory and action: A survey. *International Journal of Human-Computer Studies*, 74, 14-31.
- Shadish, W. R., Cook, T. D. & Campbell, D. T. (2002). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Belmont, Calif.: Wadsworth Cengage Learning.
- Simon, M., Schmidt, E. A., Kincses, W. E., Fritzsche, M., Bruns, A., Aufmuth, C. et al. (2011). EEG Alpha Spindle Measures as Indicators of Driver Fatigue under Real Traffic Conditions. *Clinical Neurophysiology*, 122 (6), 1168-1178.
- Simons-Morton, B. G., Ouimet, M. C., Zhang, Z., Klauer, S. E., Lee, S. E., Wang, J. et al. (2011). The effect of passengers and risk-taking friends on risky driving and crashes/near crashes among novice teenagers. *The Journal of adolescent health : official publication of the Society for Adolescent Medicine*, 49 (6), 587-593.
- Sohn, S. Y. & Stepleman, R. (1998). Meta-analysis on total braking time. *Ergonomics*, 41 (8), 1129-1140.

-
- Steinberger, F., Moeller, A. & Schroeter, R. (2016). The antecedents, experience, and coping strategies of driver boredom in young adult males. *Journal of safety research*, 59, 69-82.
- Steinberger, F., Schroeter, R. & Watling, C. N. (2017). From road distraction to safe driving. Evaluating the effects of boredom and gamification on driving behaviour, physiological arousal, and subjective experience. *Computers in Human Behavior*, 75, 714-726.
- Stern, J. A., Schroeder, D. J. & Stroliarov, N. (1996). *Blinks, Saccades, and Fixation Pauses During Vigilance Task Performance: II. Gender and Time of Day* (Office of Aviation Medicine, Hrsg.). Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation. Zugriff am 24.03.2018. Verfügbar unter https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacsoamtechreports/1990s/media/am96-09.pdf
- Stutts, J. C., Wilkins, J. W., Scott Osberg, J. & Vaughn, B. V. (2003). Driver risk factors for sleep-related crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 35 (3), 321-331.
- Takayama, L. & Nass, C. (2008). Assessing the effectiveness of interactive media in improving drowsy driver safety. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50 (5), 772-781.
- Tarvainen, M. P., Niskanen, J.-P., Lipponen, J. A., Ranta-Aho, P. O. & Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV—heart rate variability analysis software. *Computer methods and programs in biomedicine*, 113 (1), 210-220.
- Temming, D.-I. J. (2003). Fahrzeugklimatisierung und Verkehrssicherheit. Auswirkungen sommerlichen Klimas in Kfz auf die Leistungsfähigkeit der Fahrer. *FAT-Schriftenreihe* ; 177.
- Thiffault, P. & Bergeron, J. (2003a). Fatigue and Individual Differences in Monotonous Simulated Driving. *Personality and Individual Differences*, 34 (1), 159-176.
- Thiffault, P. & Bergeron, J. (2003b). Monotony of road environment and driver fatigue. A simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 35 (3), 381-391.
- Thüring, M. & Mahlke, S. (2007). Usability, aesthetics and emotions in human–technology interaction. *International Journal of Psychology*, 42 (4), 253-264.
- Thüring, M. & Minge, M. (2014). Nutzererleben messen – geht das überhaupt? *Mittelstand Digital - Wissenschaft trifft Praxis*, 1 (1), 45-53. Verfügbar unter https://www.mittelstand-digital.de/MD/Redaktion/DE/Publikationen/Wissenschaft-trifft-Praxis/magazin-wissenschaft-trifft-praxis-ausgabe1.pdf?__blob=publicationFile&v=6
- Ting, P.-H., Hwang, J.-R., Doong, J.-L. & Jeng, M.-C. (2008). Driver fatigue and highway driving: a simulator study. *Physiology & behavior*, 94 (3), 448-453.

-
- Tjolleng, A., Jung, K., Hong, W., Lee, W., Lee, B., You, H. et al. (2017). Classification of a Driver's cognitive workload levels using artificial neural network on ECG signals. *Applied ergonomics*, 59, Part A, 326-332.
- Ulich, E. (Hrsg.). (1994). *Arbeitspsychologie* (3. Auflage). Stuttgart: Schaeffer-Poeschel.
- Valck, E. de & Cluydts, R. (2001). Slow-release caffeine as a countermeasure to driver sleepiness induced by partial sleep deprivation. *Journal of Sleep Research*, 10 (3), 203-209.
- Vanlaar, W., Simpson, H., Mayhew, D. & Robertson, R. (2008). Fatigued and drowsy driving: a survey of attitudes, opinions and behaviors. *Journal of safety research*, 39 (3), 303-309.
- Verwey, W. B. & Zaidel, D. M. (1999). Preventing drowsiness accidents by an alertness maintenance device. *Accident Analysis & Prevention*, 31 (3), 199-211.
- Verwey, W. B. & Zaidel, D. M. (2000). Predicting Drowsiness Accidents from Personal Attributes, Eye Blinks and Ongoing Driving Behaviour. *Personality and Individual Differences*, 28 (1), 123-142.
- Vollrath, M., Meilinger, T. & Krüger, H.-P. (2002). How the presence of passengers influences the risk of a collision with another vehicle. *Accident Analysis & Prevention*, 34 (5), 649-654.
- Vossel, G. (1990). *Elektrodermale Labilität. Ein Beitrag zur differentiellen Psychophysiologie*. Zugl.: Mainz, Univ., Habil.-Schr. Göttingen: Verl. für Psychologie Hogrefe.
- Waard, D. d. (1996). *The measurement of drivers' mental workload*. @Groningen, Univ., Diss., 1996.
- Waard, D. d. & Brookhuis, K. A. (1991). Assessing driver status. A demonstration experiment on the road. *Accident Analysis & Prevention*, 23 (4), 297-307.
- Weess, H.-G., Sauter, C., Geisler, P., Bohning, W., Wilhelm, B., Rotte, M. et al. (2000). Vigilanz, Einschlafneigung, Daueraufmerksamkeit, Müdigkeit, Schläfrigkeit Diagnostische Instrumentarien zur Messung müdigkeits- und schläfrigkeitsbezogener Prozesse und deren Gütekriterien. Vigilance, Tendency to Fall Asleep, Sustained Attention, Tiredness, Sleepiness Diagnostic Tools for the Measurement of Sleepiness Related Processes and their Criteria of Quality. *Somnologie*, 4 (1), 20-38.
- Wertheim, H. A. (1978). Explaining Highway Hypnosis: Experimental Evidence For The Role Of Eye Movements. *Accident Analysis & Prevention*, 10 (2), 111-129.
- Wiegand, D., Hanowski, R., Olson, R. & Melvin, W. (2008). *Fatigue Analyses. From 16 months of naturalistic commercial motor vehicle driving data*. Blacksburg: The National Surface Transportation Safety. Zugriff am 27.07.2017. Verfügbar unter https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/7411/Fatigue_Analyses.pdf?sequence=4&isAllowed=y

-
- Wierwille, W. W., Ellsworth, L. A., Wreggit, S. S., Fairbanks, R. J. & Kirn, C. L. (1994). *Research on Vehicle-Based Driver Status/Performance Monitoring. Development, Validation, and Refinement of Algorithms for Detection of Driver Drowsiness* (National Highway Traffic Safety Administration, Hrsg.). Zugriff am 12.10.2016.
- Wilcox, R. R. (2012). *Introduction to robust estimation and hypothesis testing* (Statistical Modeling and Decision Science, 3. ed.). Amsterdam: Elsevier/Academic Press.
- Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F. & Singer, C. (Hrsg.). (2015). *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (ATZ/MTZ-Fachbuch, 3., überarb. und erg. Aufl.). Wiesbaden: Springer Vieweg. Verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=961554>
- Wright, N. A., Stone, B. M., Horberry, T. J. & Reed, N. (2007). *A review of in-vehicle sleepiness detection devices* (Published project report / TRL Limited PPR, vol. 157, Version: 1). Wokingham, Berks, UK: TRL Limited.
- Xie, J. Y., Chen, H.-Y. W. & Donmez, B. (2016). Gaming to Safety. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 60 (1), 1884-1888.
- Yerkes, R. M. & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18 (5), 459-482.
- Young, M. S., Brookhuis, K. A., Wickens, C. D. & Hancock, P. A. (2015). State of science: mental workload in ergonomics. *Ergonomics*, 58 (1), 1-17.
- Young, M. S. & Stanton, N. A. (2004). Taking the load off: investigations of how adaptive cruise control affects mental workload. *Ergonomics*, 47 (9), 1014-1035.
- Young, M. S. & Stanton, N. A. (2007). What's skill got to do with it? Vehicle automation and driver mental workload. *Ergonomics*, 50 (8), 1324-1339.
- Yue, L., Abdel-Aty, M., Wu, Y. & Wang, L. (2018). Assessment of the safety benefits of vehicles' advanced driver assistance, connectivity and low level automation systems. *Accident; analysis and prevention*, 117, 55-64.
- Zhang, Y., Antonsson, E. K. & Grote, K. (2006). A new threat assessment measure for collision avoidance systems. In *Proceedings / 2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. Sept. 17 - 20, 2006, [Toronto, Ontario, Canada]* (S. 968-975). Piscataway, NJ: IEEE Operations Center.
- Zöller, I. M. (2015). *Analyse des Einflusses ausgewählter Gestaltungsparameter einer Fahrsimulation auf die Fahrerhaltensvalidität vorgelegt von Ilka Maria Zöller*. Darmstadt, Techn. Univ., Diss., Zugriff am 11.03.2019. Verfügbar unter <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/4608>

Studentische Arbeiten:

- Ackermann, Christoph (2017): Konzeption und Umsetzung eines Gamification Assistenten bei der Fahrzeugführung. *Studienarbeit*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Amini, Szara Nessa; Dillmann, Joel; Joisten, Philip; Riegelbeck, Christian; Roth, Peter; Zahn, Tobias (2016): Entwurf von Fahrer-Fahrzeug Interaktionskonzepten zur Vorbeugung eines monotoniebedingten Fahrleistungsabfalls. *Advanced Design Project*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Emele, Michael (2018): Entwicklung eines Auswertungskonzepts für Blickbewegungsdaten im Fahrversuch und Durchführung von Fahrversuchen zur Evaluation des Konzepts. *Bachelorthesis*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Englert, Robin (2017): Entwicklung & Evaluierung eines Versuchskonzepts für eine Fahrsimulatorstudie zum Vergleich monotoniebedingter Effekte mit einem menschlichen & einem technischen Beifahrer. *Masterthesis*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Fröhlich, Benedikt (2018): Entwicklung eines Auswertungskonzepts für Daten des Elektrokardiograms im Fahrversuch und Durchführung von Fahrversuchen zur Evaluation des Konzepts. *Studienarbeit*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Gut, Kaja Felicitas (2018): Untersuchung des Einflusses der Leistungsmotivation auf die Akzeptanzbewertung von Gamification bei der Fahrzeugführung. *Masterthesis*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Hieronymus, Aljoscha; Post, Florian; Schwab, Christian; Thiele, Maximilian (2016): Müdigkeit im Straßenverkehr. Konzeptionierung eines Assistenzsystems. *Advanced Research Project*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Juschak, Oliver (2018): Entwicklung eines Auswertungskonzepts für Vigilanz und Elektrodermale Aktivität im Fahrversuch und Durchführung von Fahrversuchen zur Evaluation des Konzepts. *Bachelorthesis*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Kraft, Sebastian (2016): Müdigkeit als Unfallursache. Unfallstatistiken und Unfallhergänge. Forschungsseminar. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Kulenovic, Jasna (2018): Entwicklung eines Auswertungskonzepts für Fahrdaten der Querführung und Durchführung von Fahrversuchen zur Evaluation des Konzepts. *Masterthesis*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.

-
- Licht, Julian; Negash, Simon; Nischwitz, Dominik; Pommeranz, Timo (2017): Advancement and Prototyping of a Driver Interaction System for Simulated Test Drives. *Advanced Design Project*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Peter, Maximilian (2017): Entwicklung & Implementierung von Fahrsimulatorszenarien für eine Untersuchungsreihe zum Vergleich monotoniebedingter Effekte mit einem menschlichen & einem technischen Beifahrer. *Studienarbeit*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Rzany, D. (2018): Entwicklung eines Auswertungskonzepts für Fahrdaten der Längsführung und Durchführung von Fahrversuchen zur Evaluation des Konzepts. *Bachelorthesis*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Vorhöfer, Thorsten (2017): Entwicklung eines Fahrer-Fahrzeug Interaktionskonzeptes zur Vorbeugung eines monotoniebedingten Leistungsabfalls. *Diplomarbeit*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Wolf, Philipp (2017): Entwicklung & Evaluierung eines Versuchskonzepts für eine Fahrsimulatorstudie zum Vergleich monotoniebedingter Effekte mit einem menschlichen & einem technischen Beifahrer. *Studienarbeit*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.

Anhang

Anhang 1: Ablaufplan und Versuchsanweisungen für den Versuchsleiter

Legende:	Spielstart		Signal	Darauf achten dass das NumPad am DATArechner aktiviert ist!!		VP-Nummer		Lösung	Antwort Proband Punkte
	KM	Fahrzeit (min)		Codierung NumPad	Mumble Text (an Proband, nicht in den Kanal)	Hinweis Lösung	Summe:		
Session Nr.:	km/h	min	km/h	TO DO	DATArechner	NumPad	VP-Nummer		
Versuchsstart:	0,0	0	0	Einweisung der Probanden, WS 30 hochfahren & vorbereiten, Simulation starten (siehe auch "Fragebogen.docx")					
	5,0	3,75	80						
	23,5	14,85	100	Piepsen					
	23,7	14,97	100	Tröte	Geschwindigkeit, Distanz letzte 13min, gesamte Fahrdauer & Distanz seit letzter Ausfahrt				
1. Spielsession:	23,8	15,03	100	Signalhorn	Bereit machen für Session				
			100		Session starten / Buttons drücken				
			100		Spiel 1 Fahrspiel	1	Fahren Sie bitte 100 k m ha	VPym	-
			100		Spiel 2 Quiz	2		-	21 km
			100		Spiel 3 Quiz	2		-	Timer
			100		Spiel 4 Quiz	2		-	siehe "Offset1_Spiel1"
	29,0	18,15	120			0			Summe: 0
	32,7	20	120						
	41,0	24,15	100						
	50,5	29,85	100	Piepsen	Spurabweichung, aktuelle Höchstgeschwindigkeit, gesamte Fahrdauer & Distanz seit letzter Brücke im Auge behalten				
	50,7	29,97	100	Tröte	Bereit machen für Session				
2. Spielsession:	50,8	30,03	100	Signalhorn	Session starten / Buttons drücken				
			100		Spiel 1 Fahrspiel	1	Möglichst genau die Spur halten	Spurabweichung	-
			100		Spiel 2 Quiz	2	(Den Counter beachten und alle 5 sec die Leistung bewerten!)	-	100 km/h
			100		Spiel 3 Quiz	2	8. Aktuelle Höchstgeschwindigkeit	-	Timer
			100		Spiel 4 Quiz	2	1. Gesamte Fahrdauer in min	-	-
			100			2	10. Distanz in km seit letzter Brücke	-	siehe "Offset1_Spiel1"
	59,1	35,01	100			0			Summe: 0
	75,5	44,85	100	Piepsen	Spurabweichung, Distanz seit letzter Ausfahrt, Distanz seit letztem Verkehrsschild, Abstand zum hinteren Fahrzeug im Auge behalten				
	75,7	44,97	100	Tröte	Bereit machen für Session				
3. Spielsession:	75,8	45,03	100	Signalhorn	Session starten / Buttons drücken				
			100		Spiel 1 Fahrspiel	1	Möglichst genau die Spur halten	Spurabweichung	-
			100		Spiel 2 Quiz	2	(Den Counter beachten und alle 5 sec die Leistung bewerten!)	-	siehe "Offset1_Spiel1"
			100		Spiel 3 Quiz	2	2. Distanz in km seit letzter Ausfahrt	-	siehe "Offset2_Spiel1"
			100		Spiel 4 Quiz	2	7. Distanz in km seit letztem Verkehrsschild	-	siehe "Abstand nach hinten"
	84,1	50,01	100	bei ca. 83 km/h	3. Abstand in m zum hinteren Fahrzeug	0			Summe: 0

Legende:	Spielstart		Darauf achten dass das NumPad am DATArechner aktiviert ist!!!		VP-Nummer		Mumble Text (an Proband, nicht in den Kanal)	Lösung	Antwort Proband	Punkte
	MM	Spieldende	km/h	Signal	Codierung NumPad DATArechner:	Fahren Sie bitte 100 k m ha				
Session Nr.:										
	100,5	59,85	100	Piepsen	Geschwindigkeit, gesamte Fahrtdauer in min, letztes Verkehrsschild, Abstand zum Vorderfahrzeug im Auge behalten					
	100,7	59,97	100	Tröte	Bereit machen für Session					
4. Spielsektion:	100,8	60,03	100	Signalhorn	Session starten / Buttons drücken					
			100		Spiel 1 Fahrspiel (Geschwindigkeit 100 km/h möglichst genau halten (Den Counter beachten und alle 5 sec die Leistung bewerten!))	1	Fahren Sie bitte 100 k m ha	VDyn	-	-
			100		Spiel 2 Quiz 1. Gesamte Fahrtdauer in min	2	-	Timer	-	-
			100		Spiel 3 Quiz 9. Nenne das letzte Verkehrsschild	2	-	-	80 bei Nässe	-
			100		Spiel 4 Quiz 3/6. Abstand zum nachfahrenden/vorausfahrenden Fahrzeug	2	-	-	siehe "Abstand xyz"	-
			100		Spiel 4 Quiz ggf. durch anderes Quiz ersetzen	2	-	-	-	-
	107,0	63,75	120			0				Summe: 0
	109,5	65	120							
	125,0	72,75	100							
	128,5	74,82	100	Piepsen	Abstand zum Vorderfahrzeug, aktuelle Höchstgeschwindigkeit, Distanz seit letztem Verkehrsschild, Abstand zum hinteren Fahrzeug im Auge behalten					
	128,7	74,94	100	Tröte	Bereit machen für Session					
5. Spielsektion:	128,8	75	100	Signalhorn	Session starten / Buttons drücken					
			100		Spiel 1 Fahrspiel (Abstand von 80m zum vorausfahrenden Fahrzeug halten (Den Counter beachten und alle 5 sec die Leistung bewerten!))	1	Halten Sie 80 Meter Abstand ein	Abstand	-	-
			100		Spiel 2 Quiz 8. Aktuelle Höchstgeschwindigkeit	2	-	-	100 km/h	-
			100		Spiel 3 Quiz 7. Distanz seit letztem Verkehrsschild	2	-	-	siehe "Offset1-Spiels"	-
			100		Spiel 4 Quiz 3/6. Abstand zum nachfahrenden/vorausfahrenden Fahrzeug	2	-	-	siehe "Abstand xyz"	-
			100		Spiel 4 Quiz ggf. durch anderes Quiz ersetzen	2	-	-	-	-
	137,1	80,01	100			0				Summe: 0
	149,0	87,15	120							
	154,4	89,85	100	Piepsen	Spurabweichung, Distanz letzte 13min, Gesamtstrecke in km, aktuelle Höchstgeschwindigkeit im Auge behalten					
	154,6	89,97	100	Tröte	Bereit machen für Session					
6. Spielsektion:	154,7	90,03	120	Signalhorn	Session starten / Buttons drücken					
			100		Spiel 1 Fahrspiel (Möglichst genau die Spur halten (Den Counter beachten und alle 5 sec die Leistung bewerten!))	1		Spurabweichung	-	-
			100		Spiel 2 Quiz 5. Distanz über letzte 13 min Zeitspanne	2	-	-	23 km	-
			100		Spiel 3 Quiz 4. Gesamte Kilometerzahl	2	-	-	Gesamtmeter	-
			100		Spiel 4 Quiz 8. Aktuelle Höchstgeschwindigkeit	2	-	-	100 km/h	-
	155,0	90,18	100			0				Summe: 0

Legende:	Spielstart		Darauf achten dass das NumPad am DATArechner aktiviert ist!!		VP-Nummer		Lösung	Antwort Proband Punkte
	KM	Fahrtzeit (min)	km/h	Signal	Codierung NumPad DATArechner:	Mumble Text (an Proband, nicht in den Kanal)		
Session Nr.:					Io Do			
	161,2	93,9	120					
	163,4	95	100					
	167,0	97,16	100					
	179,8	104,84	100	Piepsen	Abstand zum vorderen Fahrzeug, Gesamtstrecke in km, letztes Verkehrsschild, Distanz seit letztem Verkehrsschild im Auge behalten			
	180,0	104,96	100	Tröte	Bereit machen für Session			
Z. Spielsession:	180,1	105,02	100	Signalhorn	Session starten / Buttons drücken			
			100		Spiel 1 Fahrspiel	Halten Sie 80 Meter Abstand ein	Abstand	-
			100		Spiel 2 Quiz	4. Gesamte Kilometerzahl	Gesamtmetre	
			100		Spiel 3 Quiz	9. Nenne das letzte Verkehrsschild		LKW-Überholverbot
			100		Spiel 4 Quiz	7. Distanz seit letztem Verkehrsschild	siehe "Offset1.Spiel7"	
	185,0	107,96	120					Summe: 0
	189,1	110,01	120					
	191,0	110,96	100					
	205,8	119,84	100	Piepsen	Geschwindigkeit, Distanz seit letzter Ausfahrt, Distanz seit letzter Brücke, Abstand zum Vorderfahrzeug im Auge behalten			
	206,0	119,96	100	Tröte	Bereit machen für Session			
8. Spielsession:	206,1	120,02	100	Signalhorn	Session starten / Buttons drücken			
			100		Spiel 1 Fahrspiel	Fahren Sie bitte 100 km/h	VDyn	-
			100		Spiel 2 Quiz	Geschwindigkeit 100 km/h möglichst genau halten (Den Counter beachten und alle 5 sec die Leistung bewerten!)	siehe "Offset1.Spiel8"	
			100		Spiel 3 Quiz	2. Distanz in km seit letzter Ausfahrt	siehe "Offset2.Spiel8"	
			100		Spiel 4 Quiz	10. Distanz in km seit letzter Brücke 3./6. Abstand zum nachfahrenden/vorausfahrenden Fahrzeug Spiel der aktuellen Verkehrslage anpassen, ggf. durch anderes Quiz ersetzen	siehe "Abstand xyz"	
	214,4	125	100					Summe: 0
	230,8	134,84	100	Piepsen	Spurabweichung, Distanz seit letzte Brücke, Gesamtstrecke, Distanz seit letztem Verkehrsschild im Auge behalten			
	231,0	134,96	100	Tröte	Bereit machen für Session			
9. Spielsession:	231,1	135,02	100	Signalhorn	Session starten / Buttons drücken			
			100		Spiel 1 Fahrspiel	Möglichst genau die Spur halten	Spurabweichung	-
			100		Spiel 2 Quiz	(Den Counter beachten und alle 5 sec die Leistung bewerten!)	siehe "Offset1.Spiel9"	
			100		Spiel 3 Quiz	10. Distanz in km seit letzter Brücke	Gesamtmetre	
			100		Spiel 4 Quiz	4. Gesamte Kilometerzahl	siehe "Offset2.Spiel9"	
			100					Summe: 0
	239,4	140	100					
	240,6	140,72	100					
Versuchsende:	Licht noch auslassen, Proband Fragebogen zur aktuellen Müdigkeit übergeben und ausfüllen lassen. Danach erst Licht einschalten, den Probanden entkabeln und alle weiteren Fragebögen aushändigen.							
Gesamtpunkte:								0

Anhang 2: Streckengrenzen

	Kategorie	Eigenschaft	Recherchierte Grenze	Quellengrundlage für Festlegung
STRECKE	Streckenführung	Länge der Geraden	4 km - ∞	Atchley et al. (2014), Gastaldi et al. (2014), Hayami et al. (2002), Lenné, Triggs und Redman (1997; Merat, N. & Jamson)
		Kurvenanzahl	0 – 20 pro 100 km	Boyle et al. (2008), Eoh, Chung und Kim (2005), Gastaldi et al. (2014), Hayami et al. (2002), Lenné et al. (1997), Otmani et al. (2005), Valck und Cluydts (2001),
		Radius der Kurven	1 km - ∞ , aber jeweils mindestens so groß wie die Kurvenlänge	Boyle et al. (2008), Eoh et al. (2005), Gastaldi et al. (2014), Merat, N. und Jamson (2013), Otmani et al. (2005), Paul et al. (2005), Verwey und Zaidel (2000)
		Länge der Kurven	1 km - ∞ , aber jeweils geringer als der Kurvenradius	Abgeleitet aus Kurvenradius., Kurvenanzahl und Kurven-Geraden Verhältnis von 4:1 (Boyle et al., 2008)
		Vertikale Streckenführung	Vollkommen eben	Larue et al. (2011), Liu, S. (2015), Otmani et al. (2005), Rimini-Doering et al. (2001), Saxby, Matthews, Hitchcock und Warm (2007)
	Streckentyp	Streckentyp	Landstraße, autobahnähnlich oder Autobahn	Nahezu alle Quellen
		Anzahl Spuren in eigene Fahrtrichtung	(1 -) 2	Körper et al. (2015), Larue et al. (2011), Merat, N. und Jamson (2013), Rossi et al. (2011), Verwey und Zaidel (1999)
	Konnexionen	Anschlussstellen	Abstand 25 - 50 km	Greschner (2011), Horne und Baulk (2004), Larue et al. (2011), Otmani et al. (2005), Reyner und Horne (2000), Thiffault und Bergeron (2003b)
		Parkplätze	Nicht erlaubt	Saxby et al. (2007)
		Brücken	In Verbindung mit jeder Anschlussstelle und eine weitere nach jeder zweiten Anschlussstelle	Mets et al. (2011)
	Markierungen & Bebauungen	Auftrittshäufigkeit von Schildern	6 km - ∞	Liu, S. (2015), Moller, Kayumov, Bulmash, Nhan und Shapiro (2006)
		Art der Schilder	Keine Schilderbrücke; Autobahntypische Schilder am Straßenrand	Larue et al. (2011), Merat, N. und Jamson (2013), Thiffault und Bergeron (2003b)
		Fahrbahnmarkierung	Standardmäßige Markierung mit gestrichelten und durchgezogenen weißen Linien	In keinen Quellen explizit erwähnt, daher landestypische Umsetzung
		Standstreifen	Durchgängig rechts, 2,5 Meter Breite	Åkerstedt et al. (2005), Horne und Reyner (1996), Reyner und Horne (2000), Horne und Baulk (2004), Ingre et al. (2006), Ting et al. (2008)
		Mittelstreifen	Durchgängig mit Leitplanke, Leitpfosten, Gebüsch	Otmani et al. (2005)
		Leitpfosten	Durchgängig beidseitig, standardmäßiger Abstand 50 Meter	Thiffault und Bergeron (2003b)
		Leitplanken	Links durchgängig;	Otmani et al. (2005)

			Rechts wahlweise mit konstanter Beibehaltung von 4 km - ∞		
LANDSCHAFT	Topografie	/	Ebene Landschaft mit Horizontbeschränkung	Lenné et al. (1997), Liu, C. C. et al. (2009)	
	Meteorologie	Wetter	Kein Niederschlag; Himmel blau – bewölkt	Åkerstedt et al. (2005), Gastaldi et al. (2014), Ingre et al. (2006), Larue et al. (2011), Liu, S. (2015), Mets et al. (2011),	
		Tageszeit	Morgendämmerung od. Abenddämmerung	Greschner (2011; Verwey & Zaidel)	
		Sichtweite	2000 Meter (programmspezifisch)	---	
		Nebel	Nicht erlaubt da Nebel die Fahrleistung gravierend beeinflusst	Brooks et al. (2011), Ni, Bian, Guindon und Andersen (2012), Mueller und Trick (2012)	
		Jahreszeit	Sommer oder sommerähnlich	Åkerstedt et al. (2005), Ingre et al. (2006)	
	Landschaftstyp	Baumdichte	Gering bis moderat; Akkurat oder zufällig platziert.	Keine genauen Angaben in Literatur	
		Urbaner Landschaftstyp	Nicht ausschließlich; Abstand zwischen entfernten Häusern oder Dörfern in ländlichem Gebiet: 6 km - ∞;	Karrer-Gauß (2011), Mets et al. (2011), Merat, N. und Jamson (2013)	
		Ländliche Felder	Erlaubt	Forsman, Vila, Short, Mott und van Dongen (2013)	
		Gewässer	Nicht erlaubt	Saxby et al. (2007)	
		Änderungsfrequenz der Landschaftstypen (pro Straßenseite)	Ländlich: 25 km - ∞; Wald: 10 km - ∞; Schallschutz: 10 km	Kaum Infos in Literatur eher Setzung auf Grundlage Thiffault und Bergeron (2003b)	
	,VERKEHR	Verkehrsdichte	/	Gering	Konsens alle Quellen -> hohe Relevanz für Monotonie
		Verkehrsteilnehmer	PKW	Erlaubt	Rossi et al. (2011), Saxby et al. (2007), Thiffault und Bergeron (2003b)
			LKW	Einsatz bei der Hälfte der langsameren Fahrzeuge	
Passanten			Nicht erlaubt		
Verkehrsrichtung		Gegenrichtung	0 - 20 Fahrzeuge pro Stunde	Boyle et al. (2008), Ingre et al. (2006), Larue et al. (2011), Liu, C. C. et al. (2009), Neubauer, Matthews, Langheim und Saxby (2012), Verwey und Zaidel (1999)	
		Schnellere Fahrzeuge: Verkehrsdichte	0 - 10 Fahrzeuge pro Stunde; In Kombination mit langsameren Fahrzeugen: 0 - 6 Fahrzeuge pro Stunde	Atchley et al. (2014), Horne und Baulk (2004), Körber et al. (2015), Merat, N. und Jamson (2013), Otmani et al. (2005), Reyner und Horne (1998), Valck und Cluydts (2001), Verwey und Zaidel (1999)	
		Schnellere Fahrzeuge: Verhalten und Relativgeschwindigkeit	Unauffälliges Verhalten; Bis 20 km/h über die erlaubte Geschwindigkeitsbeschränkung, aber strikt verschieden von 0 km/h		
		Langsamere Fahrzeuge: Verkehrsdichte	0 - 10 Fahrzeuge pro Stunde; In Kombination mit schnelleren Fahrzeugen: 0 - 6 Fahrzeuge pro Stunde		
		Langsamere Fahrzeuge: Verhalten und Relativgeschwindigkeit	Unauffälliges Verhalten; Bis 20 km/h langsamer als das Fahrzeug des Probanden, aber verschieden von 0 km/h		

Anhang 3: Streckenführung

#	Landschaft links	Länge	Radius	Landschaft rechts	Kumulierte Strecke	Anschlüsse	zus. Brücken
0		5000				5000 bis zur Auffahrt bei AS 65 Müllheim/Neuenburg	
1	Wald	4300		Wald	9300		
2	Wald	4400	6000	Wald	13700		bei 13600
3	Wald	4900		Wald	18600		
4	Feld	5300	6000	Feld	23900		
5	Feld	6100		Feld	30000		
6	Feld	700		Feld	30700	AS 63 Freiburg-Süd	
7	Feld	3300		Feld	34000		
8	Feld	1700	8000	Feld	35700		
9	Feld	5800		Feld	41500		
10	Feld	2100	-5000	Feld	43600		
11	Feld	1100		Feld	44700		
12	Wald	3100		Wald	47800		
13	Wald	4500	-12000	Wald	52300		
14	Wald	2700		Wald	55000		
15	Feld	2400		Feld	57400		
16	Feld	3600	15000	Feld	61000		
17	Feld	700		Feld	61700	AS 58 Herbolzheim	
18	Feld	6800		Feld	68500		
19	Feld	4200	-15000	Feld	72700		
20	Feld	11700		Feld	84400		bei 81400
21	Feld	7200	-12000	Feld	91600		
22	Wald	1200	-12000	Feld	92800		
23	Wald	700		Feld	93500	AS 55 Offenburg	
24	Wald	3900		Feld	97400		
25	Wald	1000	7500	Feld	98400		
26	Wald	6600		Feld	105000		
27	Feld	5400		Feld	110400		
28	Feld	4000	-10000	Feld	114400		
29	Feld	6900		Feld	121300		
30	Feld	4300	10000	Feld	125600		
31	Feld	700		Feld	126300	AS 52 Bühl	
32	Feld	2200		Feld	128500		
33	Wald	4200		Wald	132700		
34	Wald	1500	7000	Wald	134200		
35	Wald	6000		Wald	140200		bei 137300
36	Wald	2000	-5500	Wald	142200		
37	Wald	4900		Feld	147100		
38	Wald	1000	4000	Feld	148100		
39	Wald	5200		Feld	153300		
40	Wald	1600	-2000	Feld	154900		
41	Wald	4000		Feld	158900		

42	Urban	600		Urban	159500	
43	Urban	1000	4000	Urban	160500	
44	Urban	700		Urban	161200	AS 48 Karlsruhe-Süd
45	Urban	6000		Urban	167200	
46	Urban	1000	1500	Urban	168200	
47	Urban	2700		Urban	170900	
48	Wald	7000		Wald	177900	
49	Wald	1000	3000	Wald	178900	
50	Wald	4500		Wald	183400	
51	Wald	1600	-2600	Wald	185000	
52	Wald	1800	3000	Wald	186800	
53	Wald	900		Wald	187700	
54	Wald	700		Wald	188400	AS 42 Bruchsal
55	Wald	7600		Wald	196000	
56	Wald	1100	-2000	Wald	197100	
57	Wald	700		Wald	197800	
58	Feld	11500		Feld	209300	bei 208800
59	Urban	4400		Urban	213700	
60	Urban	700		Urban	214400	AS 38 Heidelberg/Schwetzingen
61	Urban	1000		Urban	215400	
62	Urban	1000	-3000	Urban	216400	
63	Urban	4400		Urban	220800	
64	Feld	1400	-4000	Feld	222200	
65	Feld	8000		Feld	230200	
66	Wald	1400		Wald	231600	
67	Wald	1300	8500	Wald	232900	
68	Wald	1900	3800	Wald	234800	
69	Wald	4100		Wald	238900	
70	Wald	1000	-4000	Wald	239900	
71	Wald	700		Wald	240600	Abfahrt an AS 27 Darmstadt-Eberstadt

Anhang 4: Fragebogen A nach Versuchsfahrt

Proband ID: _____ Fahrscenario: A / B / I

Fahrsimulatorstudie zur monotoniebedingten Müdigkeit Fragebogen A

Anleitung:

Bitte bewerten Sie Ihren momentanen Müdigkeitszustand **nach** der Fahrt, indem Sie die entsprechende Zahl markieren.

Karolinska-Sleepiness-Scale:

- 1 = äußerst aufmerksam
- 2 = sehr aufmerksam
- 3 = aufmerksam
- 4 = eher aufmerksam
- 5 = weder aufmerksam noch schläfrig
- 6 = ein paar Anzeichen für Schläfrigkeit
- 7 = schläfrig, aber keine Anstrengung nötig, um wach zu bleiben
- 8 = schläfrig und etwas Anstrengung nötig, um wach zu bleiben
- 9 = sehr schläfrig und große Anstrengung nötig, um wach zu bleiben (Kampf gegen den Schlaf)

Kreuzen sie in jeder Skale in das jeweilige Halbfeld, welches Ihre Erfahrung im Hinblick auf die Aufgabe am besten verdeutlicht!

Geistige Anforderung

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Gering

Hoch

Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?

Körperliche Anforderung

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Gering

Hoch

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?

Zeitliche Anforderung

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Gering

Hoch

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

Leistung

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Gut

Schlecht

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

Anstrengung

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Gering

Hoch

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

Frustration

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Gering

Hoch

Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?

Von den folgenden Aussagen ist lediglich eine Einzelne korrekt. Bitte kreuzen sie **nur eine Aussage** an!

Achtung! Die Fahrtstrecken der verschiedenen Versuchstermine sind nicht identisch

- Ich habe Fahrbahnmarkierungen passiert, welche segmentweise farblich bunt gestaltet waren
- Ich habe auf der Fahrtstrecke landwirtschaftliche Traktoren überholt
- Ich habe Verkehrsschilder passiert die auf deutschen Autobahnen nicht vorzufinden sind
- Ich habe Fußgänger passiert die sich in direkter Nähe zur Fahrbahn aufgehalten haben
- An den Brücken die ich unterfahren habe waren Werbetafeln angebracht
- Ich bin mit dem Fahrzeug über Brücken gefahren, die Flüsse kreuzten

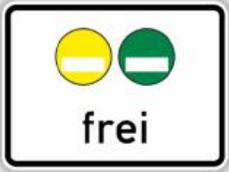
Anhang 5: Fragebogen B nach Versuchsfahrt (Version A,B&I)

Probanden ID:

Fahrsimulatorstudie zur monotoniebedingten Müdigkeit

Fragebogen B - A – Schilderererkennung –

Auf der Strecke sind Ihnen fremde und/ oder falsch platzierte Verkehrsschilder aufgefallen. Bitte kreuzen Sie aus der folgenden Liste maximal 3 Schilder an, die Ihnen aufgefallen sind. Bitte raten Sie dabei nicht!

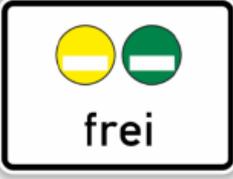
<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 
<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 
<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 
<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 

Probanden ID:

Fahrsimulatorstudie zur monotoniebedingten Müdigkeit

Fragebogen B - B – Schildererkenntung –

Auf der Strecke sind Ihnen fremde und/ oder falsch platzierte Verkehrsschilder aufgefallen. Bitte kreuzen Sie aus der folgenden Liste maximal 3 Schilder an, die Ihnen aufgefallen sind. Bitte raten Sie dabei nicht!

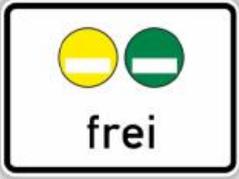
<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 
<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 
<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 
<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 

Probanden ID:

Fahr Simulatorstudie zur monotoniebedingten Müdigkeit

Fragebogen B - I - Schilderererkennung -

Auf der Strecke sind Ihnen fremde und/ oder falsch platzierte Verkehrsschilder aufgefallen. Bitte kreuzen Sie aus der folgenden Liste maximal 3 Schilder an, die Ihnen aufgefallen sind. Bitte raten Sie dabei nicht!

<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"/> 
<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 

Anhang 6: Fragebogen C - meCUE Fragebogen (Versuchsleiter Version)

VP-Code	Produkt	0
---------	---------	---

Hinweise zur Verwendung des *meCUE 2.0*-Fragebogens

Hinweise zur Durchführung

Die Instruktion befindet sich auf der ersten Seite und kann gemäß der Fragestellung angepasst bzw. umformuliert werden. Ebenso ist die Abfrage eines VP-Codes und einer Produktbezeichnung in der Kopfzeile lediglich eine Vorgabe.

Nach der Instruktionssseite folgen fünf Evaluationsseiten. Diese sind oben rechts anhand römischer Buchstaben den jeweiligen Modulen des *meCUE 2.0*-Fragebogens zugeordnet:

- I. Aufgabenbezogene Produktwahrnehmungen
- II. Nicht-aufgabenbezogene Produktwahrnehmungen
- III. Nutzeremotionen
- IV. Konsequenzen der Nutzung
- V. Gesamturteil

Aufgrund der separat validierten modularen Fragebogenstruktur können diese fünf Module je nach Fragestellung sowohl in ihrem Umfang als auch in ihrer Reihenfolge frei kombiniert werden.

Der jeweils rechts abgedruckte und in grauer Schrift unterlegte Zuordnungsschlüssel der einzelnen Items ist für die Probanden in geeigneter Weise unkenntlich zu machen. Zur Unterstützung wird auf der Internetseite www.mecue.de auch eine Version des Fragebogens zum Download angeboten, auf dem diese Angaben bereits gelöscht sind.

Hinweise zur Auswertung

Zur Auswertung wird jeder Angabe ein Wert zugeordnet, wobei die Aussage "lehne völlig ab" den Wert "1" erhält und die Aussage "stimme völlig zu" den Wert "7". Den jeweils dazwischen liegenden Antwortmöglichkeiten werden die Werte "2" bis "6" zugewiesen. Die Angaben zum letzten Item (Modul V: Gesamturteil) liegen im Wertebereich zwischen "-5" und "5", mit einem Skalenabstand von 0,5. Anschließend werden die Angaben aller zusammengehörigen Items arithmetisch gemittelt. Eine Umpolung einzelner Items erfolgt nicht. Zur Unterstützung wird auf der Internetseite www.mecue.de auch eine vorgefertigte Excel Datei zum Download angeboten, mit deren Hilfe sich Mittelwerte automatisch berechnen und grafisch darstellen lassen.

Innerhalb der Module werden folgende Dimensionen erfasst:

Modul I: Nützlichkeit (N), Benutzbarkeit (U)

Modul II: Visuelle Ästhetik (A), Status (S), Bindung (B)

Modul III: Positive Emotionen (AP, DP), Negative Emotionen (AN, DN)

Modul IV: Nutzungsintention (NI), Produktloyalität (L)

Modul V: Gesamturteil

VP-Code	Produkt	0
---------	---------	---

Fragebogen zur Bewertung interaktiver Produkte

meCUE 2.0-Fragebogen

Dieser Fragebogen dient dazu zu erfassen, wie Sie das Produkt erleben.

Auf den folgenden Seiten finden Sie verschiedene Aussagen, die Sie benutzen können, um Ihr Erleben zu bewerten.

Bitte geben Sie den Grad Ihrer Zustimmung zu jeder Aussage an, indem Sie das entsprechende Feld ankreuzen.

Entscheiden Sie spontan und ohne langes Nachdenken, um Ihren ersten Eindruck mitzuteilen. Bitte beurteilen Sie jede Aussage, selbst wenn Sie meinen, dass sie nicht vollständig zu Ihrem Erleben passt.

Es gibt keine "richtigen" oder "falschen" Antworten - nur Ihre persönliche Meinung zählt!

VP-Code	Produkt	I
---------	---------	---

	lehne völlig ab	lehne ab	lehne eher ab	weder noch	stimme eher zu	stimme zu	stimme völlig zu	
Das Produkt lässt sich einfach benutzen.	<input type="radio"/>	U.1						
Die Funktionen des Produkts sind genau richtig für meine Ziele.	<input type="radio"/>	N.1						
Es wird schnell klar, wie man das Produkt bedienen muss.	<input type="radio"/>	U.2						
Ich halte das Produkt für absolut nützlich.	<input type="radio"/>	N.2						
Die Bedienung des Produkts ist verständlich.	<input type="radio"/>	U.3						
Mithilfe des Produkts kann ich meine Ziele erreichen.	<input type="radio"/>	N.3						

VP-Code	Produkt	II							
		lehne völlig ab	lehne ab	lehne eher ab	weder noch	stimme eher zu	stimme zu	stimme völlig zu	
	Das Produkt ist kreativ gestaltet.	<input type="radio"/>	A.1						
	Das Produkt verleiht mir ein höheres Ansehen.	<input type="radio"/>	S.1						
	Ohne das Produkt kann ich nicht leben.	<input type="radio"/>	B.1						
	Das Design wirkt attraktiv.	<input type="radio"/>	A.2						
	Durch das Produkt werde ich anders wahrgenommen.	<input type="radio"/>	S.2						
	Das Produkt ist wie ein Freund für mich.	<input type="radio"/>	B.2						
	Das Produkt ist stilvoll.	<input type="radio"/>	A.3						
	Wenn ich das Produkt verlieren würde, würde für mich eine Welt zusammenbrechen.	<input type="radio"/>	B.3						
	Meine Freunde können wegen des Produkts ruhig neidisch auf mich sein.	<input type="radio"/>	S.3						

VP-Code	Produkt	III
---------	---------	-----

	lehne völlig ab	lehne ab	lehne eher ab	weder noch	stimme eher zu	stimme zu	stimme völlig zu	
Das Produkt beschwingt mich.	<input type="radio"/>	AP.1						
Das Produkt macht mich müde.	<input type="radio"/>	DN.1						
Das Produkt nervt mich.	<input type="radio"/>	AN.1						
Das Produkt entspannt mich.	<input type="radio"/>	DP.1						
Durch das Produkt fühle ich mich erschöpft.	<input type="radio"/>	DN.2						
Durch das Produkt fühle ich mich ausgeglichen.	<input type="radio"/>	DP.2						
Das Produkt frustriert mich.	<input type="radio"/>	AN.2						
Das Produkt stimmt mich euphorisch.	<input type="radio"/>	AP.2						
Durch das Produkt fühle ich mich passiv.	<input type="radio"/>	DN.3						
Das Produkt beruhigt mich.	<input type="radio"/>	DP.3						
Durch das Produkt fühle ich mich fröhlich.	<input type="radio"/>	AP.3						
Das Produkt verärgert mich.	<input type="radio"/>	AN.3						

VP-Code	Produkt	IV
---------	---------	----

	lehne völlig ab	lehne ab	lehne eher ab	weder noch	stimme eher zu	stimme zu	stimme völlig zu	
Wenn ich könnte, würde ich das Produkt App täglich nutzen.	<input type="radio"/>	NL1						
Ich würde das Produkt gegen kein anderes eintauschen.	<input type="radio"/>	L.1						
Ich kann es kaum erwarten, das Produkt erneut zu verwenden.	<input type="radio"/>	NL2						
Im Vergleich zu diesem Produkt wirken andere Produkte unvollkommen.	<input type="radio"/>	L.2						
Ich würde mir genau dieses Produkt jederzeit (wieder) zulegen.	<input type="radio"/>	L.3						
Wenn ich mit dem Produkt zu tun habe, vergesse ich schon mal die Zeit.	<input type="radio"/>	NL3						

VP-Code	Produkt	V
---------	---------	---

Wie erleben Sie das Produkt insgesamt?



Anhang 7: Vorfragebogen A

Probanden ID:

Fahr Simulatorstudie zur monotoniebedingten Müdigkeit

Vorfragebogen A

Bitte beantworten Sie die nachfolgenden Fragen nach bestem Wissen. Setzen Sie dazu ein Kreuz in das für Sie zutreffende Kästchen. Bitte beachten Sie, dass absichtliche oder unbeabsichtigte, falsche Antworten möglicherweise zu einer Verfälschung der Studie führen. Wir bitten Sie, im Anschluss die auf der Rückseite erfragten Daten zu Ihrer Person in Druckschrift auszufüllen und Ihre Verfügbarkeit anzugeben.

Ihre Angaben in diesem Fragebogen werden streng vertraulich und anonym behandelt. Selbstverständlich werden keine Angaben an Dritte weitergegeben.

Im Falle von Fragen wenden Sie sich bitte an Lukas Bier

(Mail: l.bier@iad.tu-darmstadt.de • Tel.: +4961511623122)

Angaben zu Ihrer Person	
Al.1	Geschlecht weiblich <input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/>
Al.2	Geburtsjahr 19 _____
Al.3	Körpergröße _____ m
Al.4	Körpergewicht _____ kg
Al.5	Welche gültige Fahrerlaubnis besitzen Sie? Seit wann? PKW <input type="checkbox"/> seit: _____ LKW über 7,5T <input type="checkbox"/> seit: _____ Motorrad <input type="checkbox"/> seit: _____
Al.6	Wie viele Kilometer sind Sie bisher gefahren? 0 – 25.000 km <input type="checkbox"/> 500.000 – 1.000.000 km <input type="checkbox"/> 25.000 – 200.000 km <input type="checkbox"/> über 1.000.000 km <input type="checkbox"/> 200.000 – 500.000 km <input type="checkbox"/>
Al.7	Wie viele Kilometer sind Sie im letzten Jahr gefahren? 0 – 5.000 km <input type="checkbox"/> 20.000 – 30.000 km <input type="checkbox"/> 5.000 – 10.000 km <input type="checkbox"/> 30.000 – 40.000 km <input type="checkbox"/> 10.000 – 20.000 km <input type="checkbox"/> über 40.000 km <input type="checkbox"/>
Al.8	Schlafen Sie gewöhnlicher Weise zwischen 1 und 5 Uhr morgens? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Al.9	Benötigen Sie eine Sehhilfe? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Al.10	Nehmen Sie aktuell Medikamente ein? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Al.11	Sind Sie Raucher? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Al.12	Würden Sie sich selbst als starken Kaffeekonsumenten (Kaffee, Energiedrinks etc.) bezeichnen? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Al.13	Würden Sie sich selbst als starken Alkoholkonsumenten bezeichnen? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Al.14	Sind sie der deutschen Sprache mächtig? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Al.15	Haben Sie bereits an einer Fahr Simulatorstudie teilgenommen? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Al.16	Besitzen Sie eine Affinität zu Videospiele/PC-Spielen/Smartphone-Spielen? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Al.17	Würden sie sich selbst als wettbewerbsorientiert/ kompetitiv bezeichnen? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>

Probanden ID:

A1.18 Wie viele Stunden verbringen sie durchschnittlich pro Woche mit o.g. Spielgeräten?

A1.19 Um wie viel Uhr stehen Sie wochentags für gewöhnlich auf?

A1.20 Wie viele Stunden schlafen Sie durchschnittlich in der Nacht?

A1.21 Wie verteilen sich Ihre Fahrten ungefähr zeitlich (in Summe 100%)?

Stadt: _____ %

Landstraße: _____ %

Autobahn: _____ %

Ermittlung Ihres ESS-Scores:

Die ESS Punktzahl beschreibt wie leicht Sie unter den beschriebenen Bedingungen einschlafen würden. Zur Ermittlung Ihres ESS-Scores müssen Sie für die aufgelisteten acht Situationen auf einer Skala von 0-3 einschätzen. Eine höhere Punktzahl steht dabei, für eine höhere Wahrscheinlichkeit einzuschlafen (siehe Abbildung).

<p>Bewertungsskala</p> <p>Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit in beschriebener Situation einzuschlafen?</p> <p>In beschriebener Situation ...</p> <p>0 = ... würde ich niemals einschlafen.</p> <p>1 = ... gibt es eine geringe Wahrscheinlichkeit, dass ich einschlafe.</p> <p>2 = ... gibt es eine moderate Wahrscheinlichkeit, dass ich einschlafe.</p> <p>3 = ... gibt es eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass ich einschlafe.</p>

Situation:

1. Im Sitzen lesen
2. Fernseher schauen
3. Inaktiv in der Öffentlichkeit sitzen (z. B. im Theater)
4. Für eine Stunde ohne Unterbrechung als Passagier in einem Auto sitzen
5. Sich am Nachmittag zur Erholung hinlegen
6. Im Sitzen mit einer anderen Person reden
7. Nach einem Mittagessen ohne Alkohol in Ruhe sitzen bleiben
8. Ein Fahrzeug fahren, das für mehrere Minuten aufgrund hohen Verkehrs stillsteht

Ihr Punktwert

Anhang 8: Vorfragebogen B

Proband ID: _____ Fahrscenario: A / B / I Zeitslot: 1 / 2

Fahrsimulatorstudie zur monotoniebedingten Müdigkeit Vorfragebogen B

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen wahrheitsgemäß:

Hatten Sie heute Nacht einen erholsamen Schlaf?

Ja nein

Haben Sie heute Koffein eingenommen (Kaffee, schwarzer Tee, Energy Drink, Cola etc.)?

Ja nein

___ Tassen Kaffee

___ Tassen schwarzer Tee

___ Dosen Energy Drink

___ Flaschen Mate Drink

___ Dosen / Flaschen Cola

___ Sonstige

Anleitung:

Bitte bewerten Sie Ihren momentanen Müdigkeitszustand **vor** der Fahrt, indem Sie die entsprechende Zahl markieren.

Karolinska-Sleepiness-Scale:

1 = äußerst aufmerksam

2 = sehr aufmerksam

3 = aufmerksam

4 = eher aufmerksam

5 = weder aufmerksam noch schläfrig

6 = ein paar Anzeichen für Schläfrigkeit

7 = schläfrig, aber keine Anstrengung nötig, um wach zu bleiben

8 = schläfrig und etwas Anstrengung nötig, um wach zu bleiben

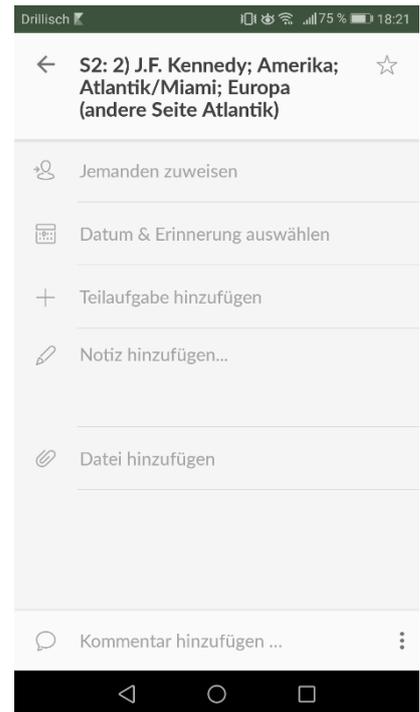
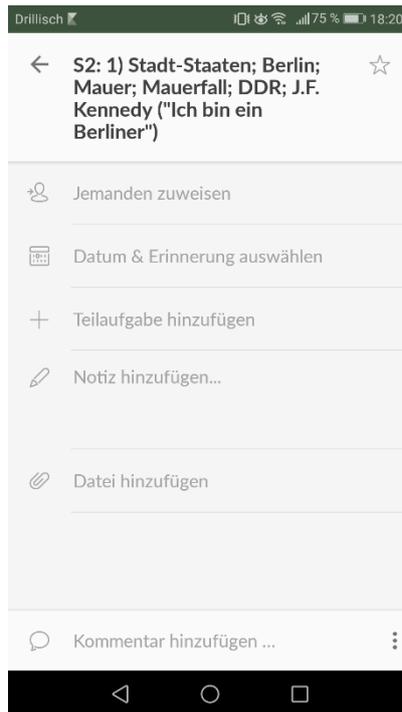
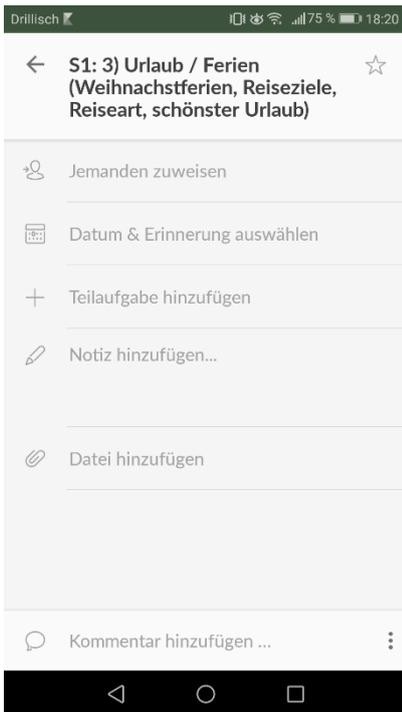
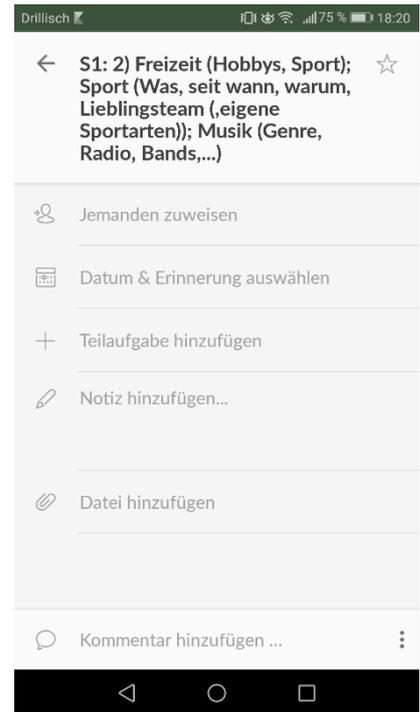
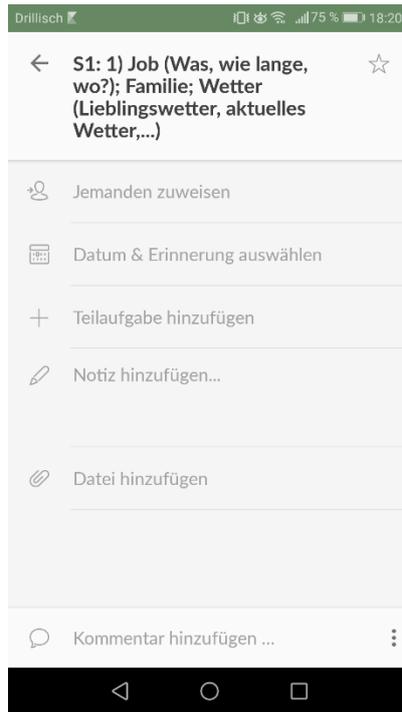
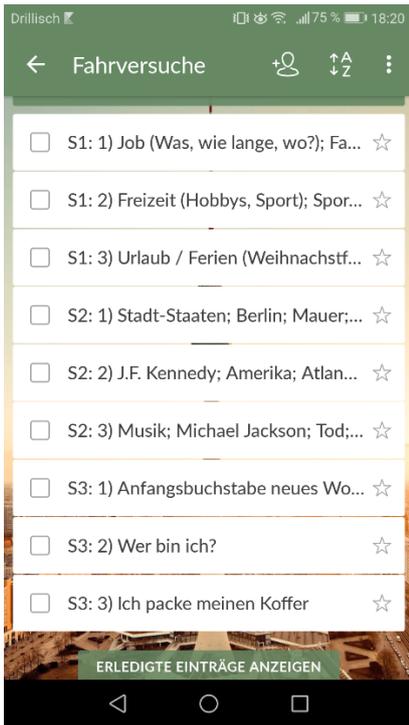
9 = sehr schläfrig und große Anstrengung nötig, um wach zu bleiben (Kampf gegen den Schlaf)

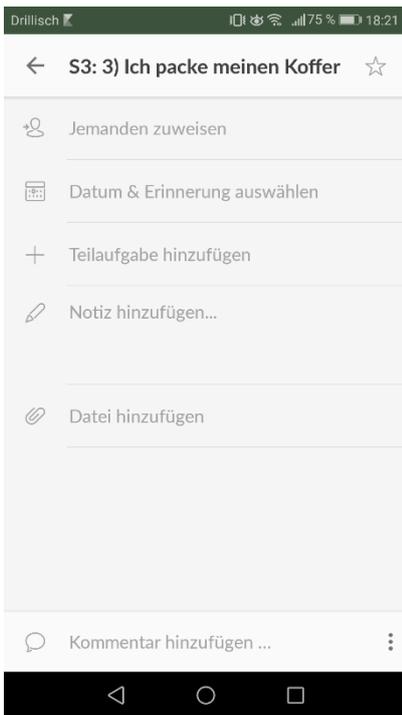
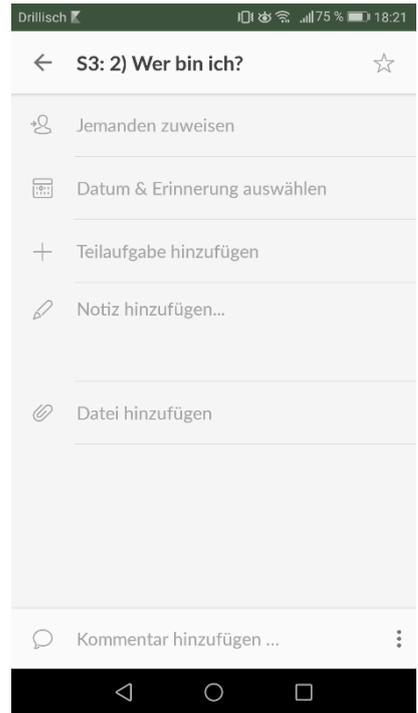
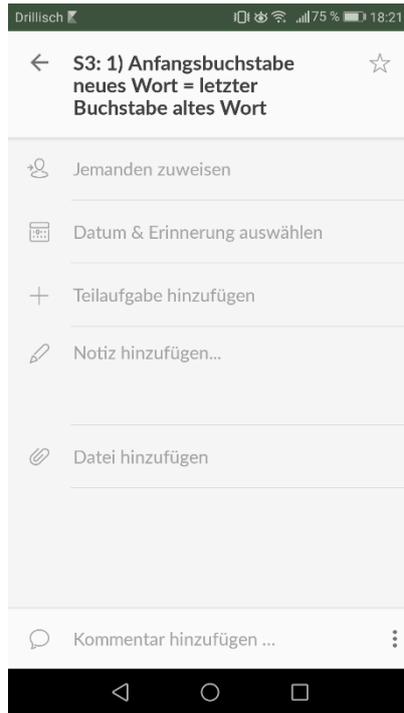
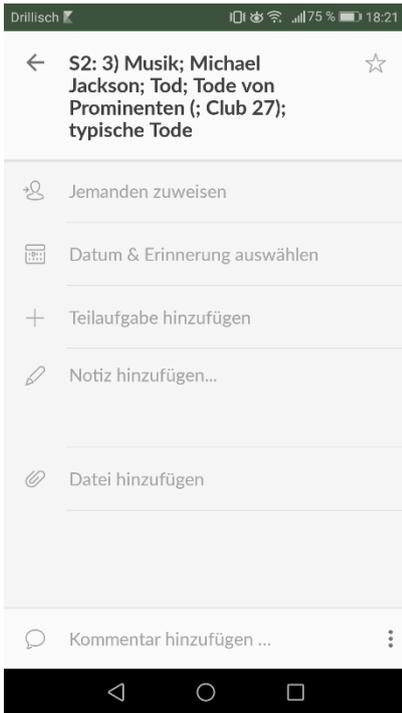
Anhang 9: Quizfragen des Interaktionssystems

Auflistung aller 11 Quizfragen:

1. Schätze bitte: Wie viele Minuten bist Du schon ohne Unterbrechung mit dem Fahrzeug unterwegs?
2. Schätze bitte: Wie viele Kilometer bist Du gefahren, seitdem du die letzte Ausfahrt passiert hast?
3. Schätze bitte: Wie viele Meter Abstand liegen zwischen Deinem und dem rückwärtigen Fahrzeug?
4. Schätze bitte: Wie viele Meter Abstand liegen zwischen Deinem und dem vorausfahrenden Fahrzeug?
5. Schätze bitte: Wie viele Kilometer hast Du bis jetzt auf Deiner Fahrt zurückgelegt?
6. Schätze bitte: Welche Distanz in Kilometern hast Du in den letzten x Minuten zurückgelegt?
7. Schätze bitte, Wie viele Kilometer hast Du zurückgelegt, seitdem Du das letzte Verkehrsschild passiert hast?
8. Nenne bitte die aktuell gültige Höchstgeschwindigkeit auf diesem Streckenabschnitt!
9. Nenne bitte das letzte Verkehrsschild, an dem du vorbeigefahren bist!
10. Schätze bitte: Wie viele Kilometer hast Du zurückgelegt, seitdem du die letzte Brücke durchfahren hast?
11. Schätze bitte die Geschwindigkeit, mit der sich das überholende Fahrzeug nähert!

Anhang 10: Wunderlist-Skript für Beifahrerfahrt





Anhang 11: Offene Fragen zum Interaktionssystem

Offene Fragen

- Welche Faktoren würden Ihre Nutzung des Systems verstärken?

- Welche Faktoren würden Ihre Nutzung des Systems erschweren?

- Was denken Sie, sind die Vorteile der Nutzung dieses Systems?

- Was denken Sie, sind die Nachteile der Nutzung des Systems?

- Welche Verbesserungsvorschläge haben Sie für das System?

- Sehen Sie eine Zukunft in dem System?

Welche der folgenden Ausstattungen haben sie in dem von Ihnen genutztem Fahrzeug? Und auf wieviel % Ihrer Fahrten nutzen sie die entsprechenden Systeme?

Ich nutze....		
<input type="checkbox"/>	Automatikgetriebe	Auf _____% meiner Fahrten
<input type="checkbox"/>	Spurhalteassistent	Auf _____% meiner Fahrten
<input type="checkbox"/>	Tempomat	Auf _____% meiner Fahrten
<input type="checkbox"/>	Autonomous Cruise Control (ACC)	Auf _____% meiner Fahrten
<input type="checkbox"/>	Sonstige: _____	Auf _____% meiner Fahrten

Anhang 12: Vorfragebogen C

Proband ID: _____

Fahrsimulatorstudie zur monotoniebedingten Müdigkeit Vorfragebogen C

Wenn ich von anderen im Gespräch unterbrochen werde	<input type="radio"/> setze ich mich dagegen zur Wehr <input type="radio"/> macht mir das nur wenig aus
Wenn ich mit Freunden eine Party veranstalte	<input type="radio"/> organisiere ich das am liebsten selbst <input type="radio"/> überlasse ich die Organisation den anderen
Wenn ich zwei Arbeiten nicht erledigt habe und ich habe nur für eine Zeit, dann	<input type="radio"/> entscheide ich mich für die leichtere Aufgabe <input type="radio"/> entscheide ich mich für die schwerere Aufgabe
Wenn ich in eine neue Gesellschaft komme	<input type="radio"/> halte ich mich eher im Hintergrund <input type="radio"/> bemühe ich mich, viele Leute kennenzulernen
In meiner Freizeit	<input type="radio"/> lese ich lieber Bücher, aus denen ich etwas lernen kann <input type="radio"/> gehe ich lieber ins Kino
Ich verwende meine Zeit lieber	<input type="radio"/> für mehrere Sachen, die schnell getan sind <input type="radio"/> für eine einzige Sache, die genauso lange dauert
Ich mache mir im allgemeinen mehr Gedanken über Menschen	<input type="radio"/> die ich gern habe <input type="radio"/> die ich nicht gern mag
Mir ist eine Arbeit lieber	<input type="radio"/> bei der ich selbst entscheide, was zu tun ist <input type="radio"/> bei der mir genau vorgeschrieben wird, was ich zu tun habe
Wenn mich jemand auf einen Fehler aufmerksam macht	<input type="radio"/> bin ich ihm dankbar <input type="radio"/> ist mir das unangenehm
Wenn ich etwas nicht gut kann	<input type="radio"/> strengte ich mich an, um es doch zu schaffen <input type="radio"/> lasse ich es sein und mache etwas anderes
Mir sind Kartenspiele lieber	<input type="radio"/> bei denen man viel nachdenken muss <input type="radio"/> bei denen es lustig zugeht

Proband ID: _____

Wenn mir jemand seine Probleme erzählt	<input type="radio"/> freue ich mich über sein Vertrauen
	<input type="radio"/> ist mir das peinlich
In meiner Freizeit	<input type="radio"/> lerne ich gern etwas Neues dazu
	<input type="radio"/> will ich mich einfach erholen
Ich arbeite lieber an einer Aufgabe	<input type="radio"/> für die ich allein verantwortlich bin
	<input type="radio"/> für die neben mir auch andere die Verantwortung tragen
Ich würde eher etwas tun	<input type="radio"/> was mir Freude macht, aber nicht sehr schwierig ist
	<input type="radio"/> was wichtig ist, mir aber weniger Freude macht
Wenn mir jemand vorgestellt wird, beurteile ich ihn eher	<input type="radio"/> nach seinem Äußeren
	<input type="radio"/> nach seinem Verhalten
Ich bevorzuge Tätigkeiten	<input type="radio"/> die anspruchslos sind und mir leicht von der Hand gehen
	<input type="radio"/> die anspruchsvoll sind und wo ich mich ganz einsetzen muss
Wenn ich Besuch bekomme	<input type="radio"/> freue ich mich über die Abwechslung
	<input type="radio"/> fühle ich mich in meiner Ruhe gestört
Wenn ich gleich viel verdiene, würde ich lieber	<input type="radio"/> als Selbständiger arbeiten
	<input type="radio"/> als Angestellter arbeiten
Ich arbeite lieber	<input type="radio"/> an schweren Aufgaben
	<input type="radio"/> an leichten Aufgaben

Anhang 13: Auswertungsintervalle

Auswertungs- intervall	Start	Ende	Vorkommnisse (Start und Ende 120km/h Zone)
1	23,300km	33,300km	Interaktion (Geschwindigkeit halten)/120km/h km(29-32,7)
2	36,800km	46,800km	
3	50,300km	60,300km	Interaktion (Spur halten)
4	62,800km	72,800km	
5	75,300km	85,300km	Interaktion (Spur halten)
6	87,800km	97,800km	
7	100,300km	110,300km	Interaktion (Geschwindigkeit halten)/120km/h km(107-109,5)
8	114,300km	124,300km	
9	128,250km	138,250km	Interaktion (Abstand halten)
10	141,250km	151,250km	
11	154,200km	164,200km	Interaktion (Spur halten)/120km/h km(161,2-163,4)
12	166,900km	176,900km	
13	179,600km	189,600km	Interaktion (Abstand halten)/120km/h km(185-189,1)
14	192,600km	202,600km	
15	205,600km	215,600km	Interaktion (Geschwindigkeit halten)
16	217,100km	227,100km	
17	229,000km	239,000km	Interaktion (Spur halten)/Wildschwein

Anmerkungen

Jedes Intervall hat 10km Länge

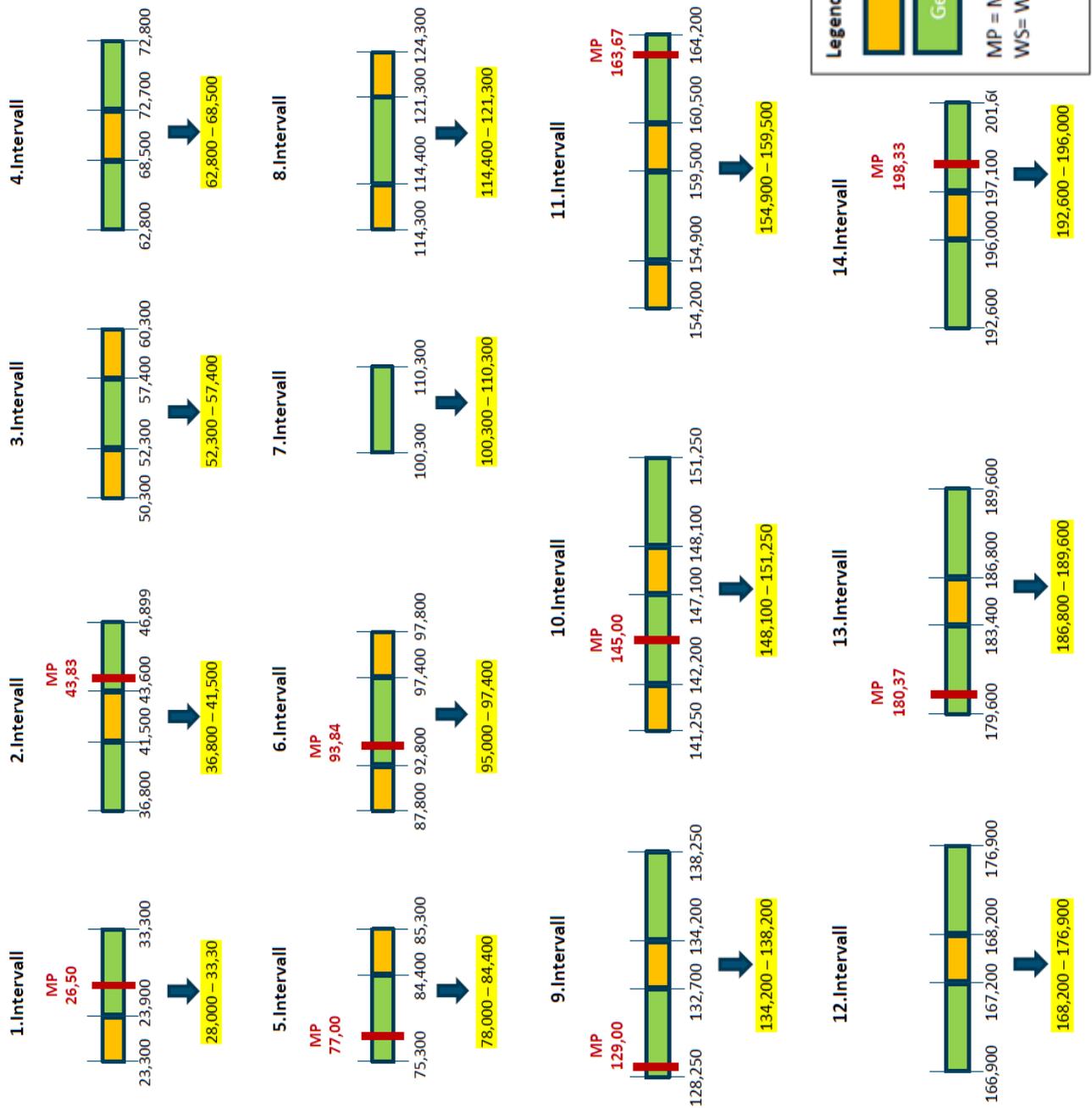
Start und Ende der 120km/h Zonen liegen teils im Auswertungsbereich

5 min Zeitdauer eines Intervalls ergibt sich aus Interaktionslänge

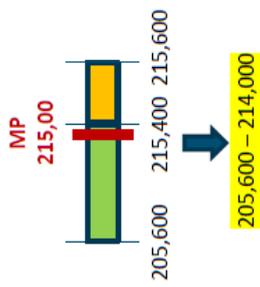
Bei genauer Einhaltung der STVO kürzestes Intervall(13) mit 5:36min Dauer

Der Start der Interaktionsintervalle liegt 500m vor der jeweiligen Interaktion

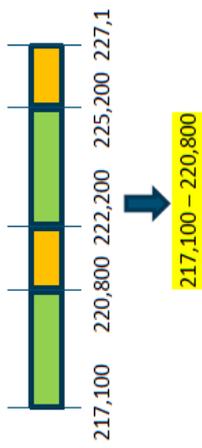
Anhang 14: Auswertungsintervalle der Querführung



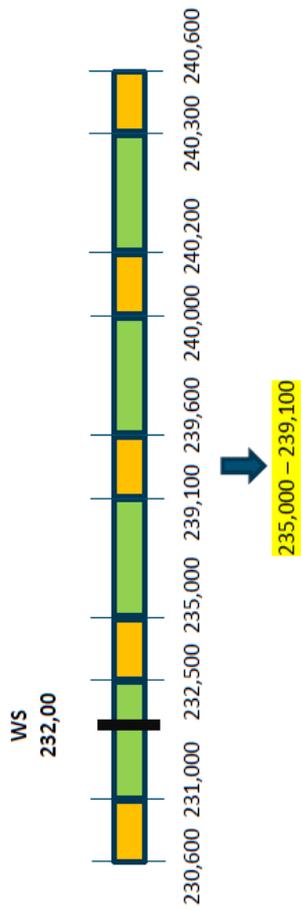
15. Intervall



16. Intervall



17. Intervall



Legende (Werte in km)



MP = Meeting Point
WS = Wildschwein

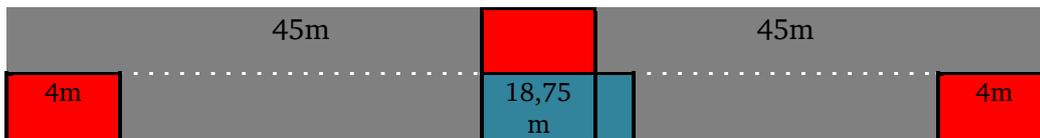
Anhang 15: Gleichungssystem Überholvorgang

Angenommen der Proband fährt mit nur 85 km/h auf einem geraden Streckenabschnitt und überholt einen LKW, der, wie alle zu überholenden Fahrzeuge auf der Versuchsstrecke, mit 80 km/h in dieselbe Richtung fährt.

$$v_{PKW} = 85 \text{ km/h}$$

$$v_{LKW} = 80 \text{ km/h}$$

Der Proband startet den Überholvorgang, wenn der Abstand 45 m (Mindest-Sicherheitsabstand 42,5m) zum LKW beträgt und schert wieder ein, wenn er 45 m vor dem LKW ist (siehe schematische Skizze).



Berechnet werden muss die Strecke s , die der PKW beim Überholvorgang zurücklegt.

Die einzige benötigte Bewegungsgleichung lautet $s = v \cdot t$

Es gelten folgende 3 Gleichungen:

$$s_{PKW} = v_{PKW} \cdot t \quad (1)$$

$$s_{LKW} = v_{LKW} \cdot t \quad (2)$$

$$s_{PKW} - s_{LKW} = L \quad (3)$$

Die Zeiten t sind für beide Fahrzeuge gleich, weshalb auf den Index verzichtet wird. Die Strecke L ergibt sich aus den in der Skizze angegebenen Maßen: $45\text{m} + 18,75\text{m} + 45\text{m} + 4\text{m} = 112,75\text{m} = L$.

Aus Gleichungen (1) und (2) folgt durch Division Gleichung (4):

$$\frac{s_{PKW}}{s_{LKW}} = \frac{v_{PKW} \cdot t}{v_{LKW} \cdot t} = \frac{v_{PKW}}{v_{LKW}} \rightarrow s_{PKW} \cdot v_{LKW} = s_{LKW} \cdot v_{PKW} \quad (4)$$

Die Gleichung (3) wird umgeformt zu Gleichung (5):

$$s_{PKW} - s_{LKW} = L \rightarrow s_{LKW} = s_{PKW} - L \quad (5)$$

Gleichung (5) wird eingesetzt in Gleichung (4):

$$s_{PKW} \cdot v_{LKW} = (s_{PKW} - L) \cdot v_{PKW} = s_{PKW} \cdot v_{PKW} - L \cdot v_{PKW} \rightarrow L \cdot v_{PKW} = s_{PKW} \cdot v_{PKW} - s_{PKW} \cdot v_{LKW} \rightarrow$$

$$L \cdot v_{PKW} = s_{PKW} \cdot (v_{PKW} - v_{LKW}) \rightarrow s_{PKW} = L \cdot \frac{v_{PKW}}{v_{PKW} - v_{LKW}}$$

Einsetzen der Werte:

$$s_{PKW} = 112,75 \cdot \frac{85 \text{ km/h}}{85 \text{ km/h} - 80 \text{ km/h}} = 112,75 \text{ m} \cdot \frac{85}{5} = 1.916,75 \text{ m}$$

Für den Überholvorgang benötigt der Proband im ungünstigen Fall also 1.916,75m Fahrstrecke.

Anhang 16: Vorabanalyse Geschwindigkeitsverlauf nach Änderung der Richtgeschwindigkeit

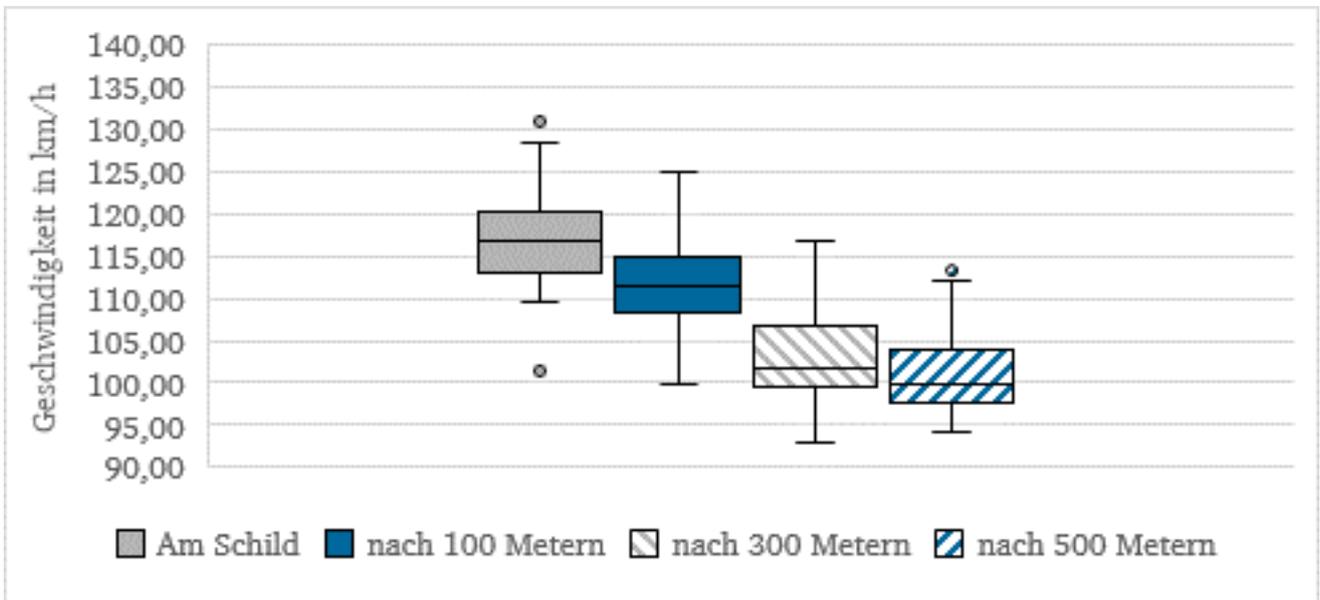


Abbildung 56: Geschwindigkeitsentwicklung infolge einer Richtgeschwindigkeitsänderung von 120 km/h auf 100 km/h (n=31)

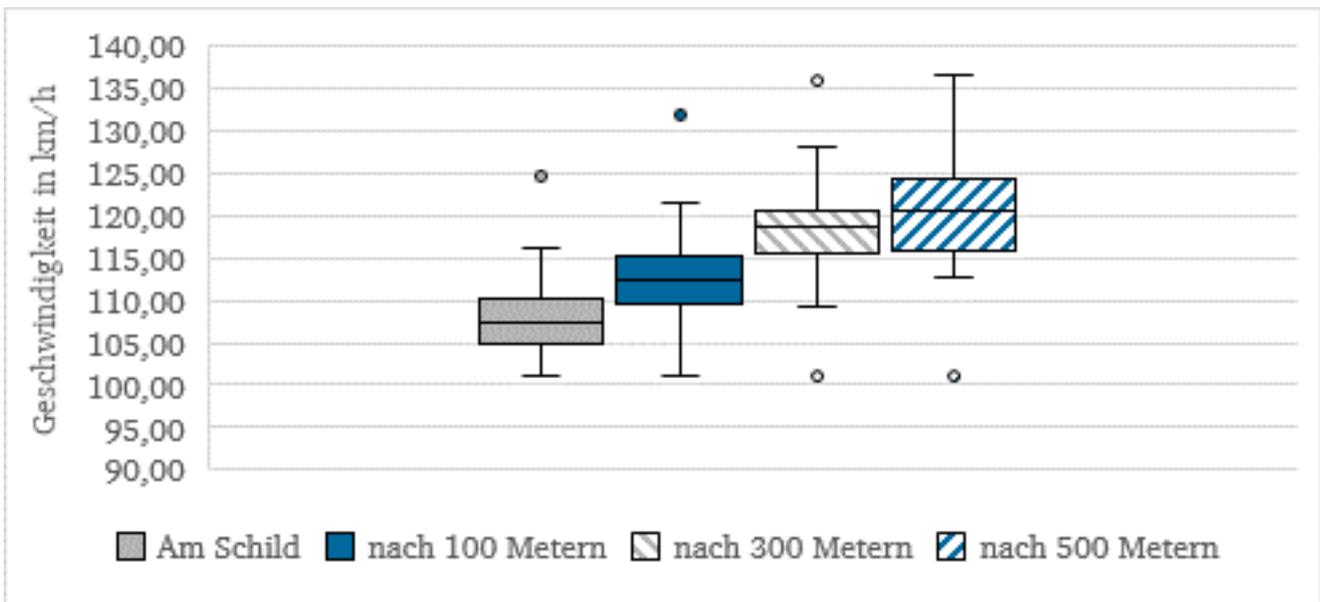


Abbildung 57: Geschwindigkeitsentwicklung infolge einer Richtgeschwindigkeitsänderung von 100 km/h auf 120 km/h (n=31)

Anhang 17: Auswertungsintervalle der Längsführung

Intervallgrenzen der 100 km/h-Zonen		
Intervall Nr.	Intervallstart der 100km/h-Zone bei KM	Intervallende der 100km/h-Zone bei KM
0	5,400	15,000
1	23,300	28,600
2	41,450	46,800
3	50,300	60,300
4	62,800	72,800
5	75,300	85,300
6	87,800	97,800
7	100,300	106,600
8	KIV	
9	128,250	138,250
10	141,250	148,600
11	155,400	160,800
12	167,400	176,900
13	179,600	184,600
14	192,600	202,600
15	205,600	215,600
16	217,100	227,100
17	232,625	239,000
KIV	Kein Intervall vorhanden	

Anhang 18: Änderung der SCL über alle Intervalle

Intervall	A (n=31)		B (n=31)		I (n=31)	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1*	0,26	0,13	0,47	0,20	0,49	0,17
2	0,22	0,13	0,37	0,16	0,29	0,16
3*	0,25	0,14	0,34	0,16	0,35	0,16
4	0,26	0,14	0,34	0,14	0,28	0,14
5*	0,29	0,16	0,32	0,13	0,34	0,16
6	0,30	0,15	0,29	0,15	0,25	0,15
7*	0,32	0,17	0,29	0,13	0,35	0,16
8	0,33	0,15	0,30	0,12	0,27	0,13
9*	0,35	0,18	0,27	0,15	0,34	0,15
10	0,35	0,17	0,25	0,13	0,28	0,14
11*	0,34	0,17	0,28	0,14	0,33	0,15
12	0,36	0,17	0,27	0,14	0,29	0,15
13*	0,34	0,16	0,29	0,17	0,32	0,16
14	0,32	0,17	0,29	0,18	0,28	0,17
15*	0,29	0,17	0,29	0,20	0,33	0,20
16	0,30	0,19	0,30	0,20	0,28	0,20
17*	0,37	0,19	0,33	0,21	0,37	0,20
Gesamt	0,31	0,11	0,31	0,09	0,32	0,11

Anhang 19: Änderung der HR über alle Intervalle

Intervall	A (n=31)		B (n=31)		I (n=31)	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1*	75,67	8,90	79,47	10,20	79,63	14,01
2	75,70	8,64	78,64	9,59	76,92	11,75
3*	76,17	8,26	77,94	9,29	76,92	11,69
4	75,54	8,12	77,32	9,14	75,82	10,09
5*	75,37	8,62	76,64	9,37	75,40	10,90
6	75,08	8,45	75,86	8,99	75,37	9,77
7*	74,93	7,99	75,40	8,94	74,70	10,34
8	73,64	7,73	74,73	8,90	74,29	9,46
9*	72,97	7,72	74,73	8,83	73,75	9,88
10	72,86	7,85	74,36	8,97	73,81	9,36
11*	72,51	8,29	73,86	8,96	73,35	9,77
12	72,60	7,73	73,02	8,74	72,75	8,72
13*	72,27	8,22	73,13	9,61	72,84	10,14
14	72,47	8,31	72,63	9,11	72,24	8,88
15*	71,17	8,67	72,22	9,07	72,23	9,48
16	71,65	8,58	72,31	8,99	71,69	8,66
17*	71,25	8,13	72,64	8,99	72,58	9,69
Gesamt	73,79	7,88	75,14	8,77	74,48	9,95

Anhang 20: Änderung der SDNN über alle Intervalle

Intervall	A (n=31)		B (n=31)		I (n=31)	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1*	48,60	18,65	50,08	22,13	44,71	18,73
2	52,40	22,71	64,92	21,87	55,74	26,06
3*	52,41	20,40	66,05	28,11	53,07	23,79
4	61,14	22,70	65,10	20,21	61,31	27,45
5*	61,22	26,16	66,90	23,45	61,06	24,79
6	60,92	22,67	67,02	24,75	59,73	21,48
7*	65,16	24,20	68,94	26,06	58,82	25,18
8	69,78	21,25	70,21	26,60	64,11	27,79
9*	63,01	21,48	75,67	29,78	67,70	30,78
10	69,91	21,64	70,94	27,10	65,12	24,04
11*	70,03	26,81	72,41	29,61	68,81	29,47
12	67,40	26,64	72,53	29,67	71,07	27,45
13*	73,05	22,64	76,19	36,95	71,14	28,67
14	69,52	26,10	81,26	30,86	67,23	31,07
15*	76,64	31,31	76,42	28,58	74,28	30,84
16	74,37	31,06	77,54	26,77	72,99	25,48
17*	74,71	25,28	80,19	24,49	74,55	30,30
Gesamt	84,26	32,13	85,18	29,38	76,89	21,10

Anhang 21: Änderung der Lidschlussfrequenz über alle Intervalle

Intervall	A (n=29)		B (n=28)		I (n=28)	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5,24	22,30	7,77	23,12	-3,61	26,90
3*	7,53	25,04	5,80	17,22	-9,19	17,85
4	23,81	47,02	4,64	20,54	-0,36	39,78

5*	23,36	34,32	15,38	29,20	1,66	34,00
6	31,15	49,94	12,13	34,17	-4,10	22,34
7*	32,76	44,19	14,37	31,35	10,32	30,13
8	20,84	39,27	9,20	32,32	10,73	43,76
9*	23,38	38,22	11,71	30,44	6,73	34,47
10	33,09	38,58	15,60	32,90	2,41	30,45
11*	24,26	32,23	12,75	32,96	-0,89	26,17
12	18,84	37,89	20,15	45,26	8,38	52,72
13*	17,71	51,31	7,75	29,65	-3,13	23,81
14	20,45	41,33	18,49	37,59	3,04	30,37
15*	17,22	46,72	23,16	44,84	4,76	21,54
16	25,75	56,72	21,04	52,56	4,79	33,24
17*	22,34	44,54	19,86	47,50	-0,85	33,48
Gesamt	20,34	32,24	12,49	27,21	1,97	26,51

Anhang 22: Durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit über alle Intervalle

Intervall	A (n=31)		B (n=31)		I (n=31)	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1*	103,5	4,6	102,8	3,9	101,2	2,4
2	103,2	4,7	105,4	5,6	103,2	4,8
3*	103,0	4,3	103,7	3,7	102,5	4,2
4	103,1	4,6	103,5	3,9	102,5	3,9
5*	103,2	4,7	103,6	3,5	102,0	3,1
6	103,1	4,4	103,5	4,2	102,4	3,8
7*	103,5	5,0	102,8	3,9	101,7	2,4
8	---	---	---	---	---	---
9*	103,9	5,4	104,2	4,9	102,1	3,0
10	103,5	4,4	103,5	4,8	102,6	4,2
11*	104,9	5,9	106,8	7,4	102,7	4,2
12	104,3	4,9	106,3	6,8	103,1	4,9
13*	103,8	5,0	104,9	5,0	94,1	2,2
14	103,8	4,9	105,1	5,2	101,9	3,9
15*	104,0	6,0	104,2	5,9	102,3	2,9
16	103,4	4,9	104,1	4,5	102,4	4,5
17*	103,1	4,4	104,9	6,7	103,3	4,9
Gesamt	103,6	4,4	104,3	3,8	101,8	3,0

Anhang 23: Standardabweichung der lateralen Position über alle Intervalle

Intervall	A (n=31)		B (n=31)		I (n=31)	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1*	0,31	0,05	0,29	0,05	0,29	0,06
2	0,27	0,09	0,23	0,06	0,27	0,08
3*	0,29	0,08	0,23	0,06	0,22	0,06
4	0,34	0,05	0,29	0,04	0,33	0,07
5*	0,33	0,05	0,29	0,04	0,30	0,06
6	0,33	0,10	0,30	0,09	0,32	0,09
7*	0,32	0,08	0,26	0,07	0,28	0,07
8	0,36	0,07	0,31	0,06	0,34	0,05
9*	0,30	0,10	0,25	0,07	0,25	0,07
10	0,38	0,05	0,34	0,05	0,36	0,06
11*	0,31	0,07	0,27	0,06	0,22	0,09
12	0,30	0,06	0,27	0,06	0,29	0,08



13*	0,29	0,08	0,26	0,08	0,25	0,08
14	0,29	0,09	0,25	0,08	0,26	0,08
15*	0,34	0,07	0,29	0,06	0,31	0,08
16	0,38	0,07	0,35	0,05	0,36	0,05
17*	0,29	0,08	0,26	0,07	0,24	0,07
Gesamt	0,32	0,05	0,28	0,04	0,29	0,05

Anhang 24: Antworten auf offene Fragen zur Interaktionssystembewertung

1. Frage: - Welche Faktoren würden Ihre Nutzung des Systems verstärken?	Anzahl Nennungen
Bessere Umsetzung HUD/Platzierung	3
Bessere Grafik	5
Mehr Auswahl/Variation an Fragen	11
Häufigere Interaktion	5
Rücksichtsvollere Aktivierung des Systems	2
Verständlichere Befehle	2
Lautstärkeneinstellung	1
Nachvollziehbare Entscheidungen	1
Auditive Wiedergabe der richtigen Antwort	1
Intergration in existierende Systems	1
Höhere Kommunikationsfähigkeit des Systems	1
VP die geantwortet haben	24

2. Frage: - Welche Faktoren würden Ihre Nutzung des Systems erschweren?	Gesamturteil
Sonneneinstrahlung	1
Manuelle Bedienung	6
Lautstärke falsch	1
Aufgaben ablenkend	1
Antworten auf Zeit	1
Keine Abwechslung der Fragen	1
Schlechte Spracherkennung	1
Viel Verkehr	4
Beifahrer	1
Geringe Interaktion	1
schlechtes HUD	1
VP die geantwortet haben	20

3. Frage: - Was denken Sie sind die Vorteile der Nutzung dieses Systems?	Gesamturteil
Höhere Sicherheit	1
Verringerte Müdigkeit	13
Abwechslung/Beschäftigung	7
Sprachsteuerung	1
Erhöhte Konzentration/Aufmerksamkeit	10
Weniger Monotonie	5
VP die geantwortet haben	30

4. Frage: - Was denken Sie sind die Nachteile der Nutzung des Systems?	Gesamturteil
Ablenkung	20
Rein Auditiv	1
Ärger über unfaire Bewertung	1
Verbindung zum Fahrzeug nicht optimal	1
Nicht auf Individuum angepasst	1
Fragen zu monoton	1
VP die geantwortet haben	24

5. Frage: - Welche Verbesserungsvorschläge haben Sie für das System?	Gesamturteil
Bessere Platzierung/ Grafik	3
Angenehmere Stimmer/Musik	4
Abwechslung Aufgaben	12
Mehr Interaktionen	5
Mehr im HUD	2
Aktivierung schonender	1
HUD verbessern	2
lustiger	2
VP die geantwortet haben	24

6. Frage: - Sehen Sie eine Zukunft in dem System?	Gesamturteil
Ja	22
Nein	4
Teilweise	4
VP die geantwortet haben	30