

# **Fahrerspezifische Aspekte beim hochautomatisierten Fahren**

von

**Anna Feldhütter  
Tobias Hecht  
Klaus Bengler**

**Technische Universität München  
Lehrstuhl für Ergonomie**

---

**Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE 82.0628/2015  
im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln der Forschungsvereinigung  
Automobiltechnik e.V (FAT) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)  
gefördert**



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung: Forschungsfragen und Ziele .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Ergebnisse der Literaturrecherche .....</b>	<b>8</b>
2.1. Systematisierung des Fahrerzustands .....	9
2.1.1. Wachheit.....	10
2.1.2. Aufmerksamkeit.....	12
2.2. Erweiterung des Fahrerzustandsmodells .....	14
2.3. Auswirkungen von Automationsdauer und natürliches Verhalten .....	14
<b>3. Vorversuch .....</b>	<b>19</b>
3.1. Versuchsdesign.....	20
3.1.1. Versuchseinführung.....	22
3.1.2. Versuchsfahrt.....	23
3.1.3. Abhängige Variablen und Messtechnik .....	25
3.1.4. Versuchsende und Debriefing.....	25
3.1.5. Altersgruppen .....	26
3.2. Ergebnisse .....	26
3.2.1. Probandenkollektiv .....	26
3.2.2. Systemvertrauen .....	27
3.2.3. Herzfrequenz .....	29
3.2.4. Eyetracking-Daten .....	30
3.2.5. Mind Wandering.....	32
3.2.6. Übernahmeparameter und Baseline-Fahrt.....	34
3.2.7. Sonstige Verhaltensweisen .....	37
3.3. Diskussion und Lessons Learned .....	37
<b>4. Hauptversuch.....</b>	<b>39</b>

<b>4.1.</b>	<b>Versuchsdesign.....</b>	<b>40</b>
4.1.1.	Versuchseinführung.....	40
4.1.2.	Fahrfremde Tätigkeiten während der hochautomatisierten Fahrt.....	41
4.1.3.	Versuchsfahrt.....	42
4.1.4.	Abhängige Variablen und Messtechnik .....	44
4.1.5.	Versuchsende und Debriefing.....	46
4.1.6.	Altersgruppen .....	47
<b>4.2.</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>47</b>
4.2.1.	Probandenkollektiv .....	49
4.2.2.	Herzfrequenz .....	50
4.2.3.	Blickdaten.....	52
4.2.4.	Natürliches Verhalten und fahrfremde Tätigkeiten (nur FFT-Gruppe).....	63
4.2.5.	Übernahmezeit und -qualität .....	67
4.2.6.	Subjektive Daten: Mind Wandering und Systemvertrauen .....	71
<b>4.3.</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse.....</b>	<b>73</b>
<b>5.</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>75</b>
5.1.	Fahrerzustand und natürliche fahrfremde Tätigkeiten.....	75
5.2.	Methodische Aspekte.....	77
<b>6.</b>	<b>Wizard-of-Oz-Expertenworkshop .....</b>	<b>79</b>
6.1.	Ziel des Workshops.....	79
6.2.	Wizard-of-Oz-Fahrzeug .....	80
6.3.	Versuchsfahrten .....	81
6.4.	Ergebnisse des Workshops .....	83
6.4.1.	Wichtigsten Erkenntnisse der Befragung.....	83
6.4.2.	Wichtigsten Punkte aus der Beobachtung .....	83
6.4.3.	Vergleichbarkeit der Methodik im Fahrsimulator und Realfahrzeug .....	84

6.4.4. Allgemeine methodische Aspekte .....	84
7. Zusammenfassung .....	85
8. Literaturverzeichnis.....	86
Anhang .....	93
A.1: Abkürzungen, Formelzeichen und Indizes .....	93
A.2: Trust-Fragebogen (Hauptversuch) .....	95
A.3: Instruktion (Hauptversuch).....	96

## 1. Einleitung: Forschungsfragen und Ziele

Die fortschreitende Entwicklung hochautomatisierter Fahrfunktionen hat das Potenzial, individuelle Mobilität drastisch zu verändern. Neben zahlreichen Vorteilen entstehen allerdings auch Risiken: Die Tatsache, dass der Mensch bei dieser Entwicklungsstufe des automatisierten Fahrens weiter die Rückfallebene darstellt und an Systemgrenzen die Fahrzeugführung wieder komplett übernehmen muss, bringt bisher nur unzureichend erforschte Herausforderungen mit sich.

Im Rahmen des BAST/FAT-Projekts „Fahrerspezifische Aspekte beim hochautomatisierten Fahren (HAF)“ wurden in einem gemeinsamen Kickoff-Projekttreffen folgende Forschungsfragen durch den Betreuerkreis und die Technische Universität München identifiziert:

1. Wie kann der Fahrerzustand im Kontext des hochautomatisierten Fahrzeugs definiert werden?
2. Wie kann der Fahrerzustand beim HAF erfasst werden?
3. Wie entwickelt sich der Fahrerzustand über einen längeren Zeitraum beim HAF?
4. Wie lässt sich natürliches Verhalten unter Versuchsbedingungen (HAF) erzeugen, sodass es trotzdem messbar bleibt?
5. Welche Auswirkungen haben Fahrerzustand und natürliches Verhalten auf die Übernahme?
6. Wie können Metriken generiert werden, die den Fahrerzustand beim HAF messbar machen?
7. Welche Anforderungen müsste ein Realfahrzeug erfüllen, um als Versuchsträger zur Untersuchung des Fahrerzustandes geeignet zu sein?

Die Bearbeitung dieser Forschungsfragen erfolgte entlang des in Abbildung 1-1 dargestellten Projektzeitplans.



Abbildung 1-1: Projektzeitplan

In den ersten sechs Projektmonaten wurde zum einen eine Systematisierung des Konstrukts Fahrerzustand im hochautomatisierten Fahrzeug und der Metriken, welche zur Messung dieser notwendig sind, durchgeführt. Diese Ergebnisse werden in Kapitel 2.1 detailliert dargestellt. Zum anderen wurde basierend auf den Ergebnissen dieser Literaturstudie herausgearbeitet, dass vor allem im Bereich längerer automatisierter Fahrten großer Forschungsbedarf besteht. Derzeit existieren kaum Studien, welche den Einfluss der Fahrdauer auf die Fahrer Verfügbarkeit und den Fahrerzustand untersuchen (siehe Kapitel 2.3). Als direkte Folge längerer Automationsdauern, bei denen der Fahrer über einen längeren Zeitraum Monotonie und Langeweile ausgesetzt ist, kann u. U. Hypovigilanz und Müdigkeit auftreten. Um zu untersuchen, ob diese Zustände bei längeren automatisierten Fahrten tatsächlich relevant sind oder ob die Fahrer Kompensationsstrategien entwickeln, wurden im Rahmen dieses Projekts zwei Versuche durchgeführt (Vor- und Hauptversuch). Da bisherige Versuche, die im Zusammenhang mit hochautomatisiertem Fahren durchgeführt wurden, äußerst artifiziell gestaltet waren, tauchte immer wieder die Frage nach der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den realen Straßenverkehr auf. Ein weiteres Ziel dieses Projekts war daher, eine Methodik zur gezielten Herstellung „natürlicher“ Nutzungsbedingungen beim hochautomatisierten Fahren zu entwickeln.

Zusammenfassend wurden also die oben genannten Forschungsfragen basierend auf der Literaturrecherche und -systematisierung zu Fahrerzustand, längeren Automationsdauern und natürlichen fahrfremden Tätigkeiten beim hochautomatisierten Fahren auf folgende Projektschwerpunkte eingegrenzt:

- Die Untersuchung der Entwicklung von Fahrer Verfügbarkeit und Fahrerzustand bei längeren hochautomatisierten Fahrten
- Die Untersuchung der Veränderung der Fahrer Verfügbarkeit und des Fahrerzustands mit dem Fokus auf Hypovigilanz und Müdigkeit
- Die Entwicklung einer Methodik zur gezielten Herstellung „natürlicher“ Nutzungsbedingungen beim hochautomatisierten Fahren

Um beurteilen zu können, ob die im Fahrsimulator entwickelte Methodik auch für den realen Straßenverkehr geeignet sind, wurde außerdem ein Expertenworkshop im Realfahrzeug durchgeführt. Die Versuche werden mit Versuchsdesign und Ergebnissen in Kapitel 3 bzw. 4 beschrieben. Daran schließt eine Diskussion dieser Ergebnisse in Kapitel 5 an, wobei auf die eingangs dargestellten Forschungsfragen Bezug genommen wird. In Kapitel 6 wird der Expertenworkshop und die daraus resultierenden Ergebnisse beschrieben.

## **2. Ergebnisse der Literaturrecherche**

Im ersten von insgesamt drei Projektteilen wurde eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt. Dabei wurde insbesondere der Stand der Forschung hinsichtlich des Fahrerzustands und seiner Erfassung herausgearbeitet, aber auch der Einfluss der Automationsdauer thematisiert. In Kapitel 2.3 wird darüber hinaus auf mögliche fahrfremde Tätigkeiten während einer hochautomatisierten Fahrt eingegangen.

## 2.1. Systematisierung des Fahrerzustands

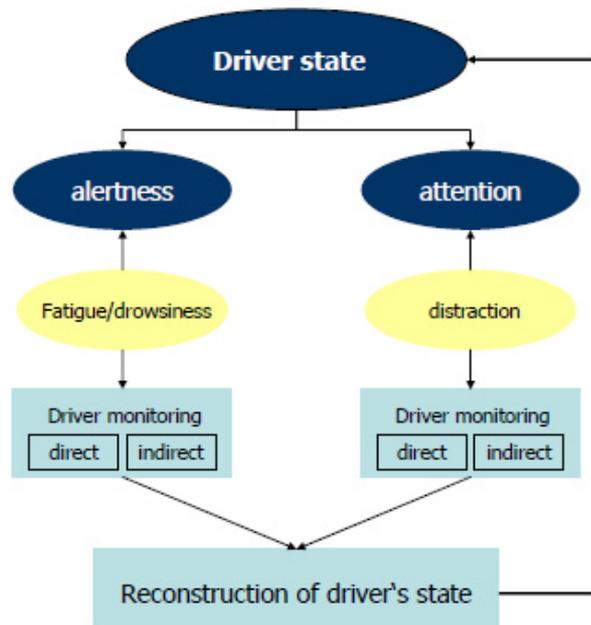


Abbildung 2-1: Fahrerzustandsmodell nach HAVEit (Rauch, Kaussner, Boverie & Giralt, 2009)

Eine universelle Definition des Fahrerzustands existiert derzeit nicht. Es gibt viele Ansätze den Fahrerzustand im Hinblick auf spezielle Fragestellungen darzustellen, jedoch nur einen, der den Fahrerzustand vor dem Hintergrund des hochautomatisierten Fahrens modelliert. Dieser Ansatz wurde im Rahmen des EU-Projekts HAVEit vorgestellt (siehe Abbildung 2-1). Nach Rauch et al. (2009) besteht der Fahrerzustand im Wesentlichen aus zwei Konstrukten: Zum einen aus der Wachheit oder auch Aktiviertheit des Fahrers, die durch Müdigkeit oder Ermüdung beeinflusst werden kann, und zum anderen aus der Aufmerksamkeit des Fahrers, die durch Ablenkung beeinträchtigt wird. Diese beiden Konstrukte können durch die Beobachtung des Fahrers entweder durch direkte oder indirekte Metriken gemessen werden. Aus den Ergebnissen der Messung kann schließlich der Fahrerzustand rekonstruiert werden. Die Konstrukte Wachheit und Aufmerksamkeit und deren Einflussfaktoren und Erfassungsmöglichkeiten werden im Folgenden genauer beschrieben.

### **2.1.1. Wachheit**

Die Wachheit (engl. *alertness*) des Fahrers stellt seinen energetischen Zustand dar (Knipling & Wierwille, 1994). Hierbei ist der Umfang an Ressourcen, die einem Fahrer zur Bewältigung einer Aufgabe zur Verfügung stehen, individuell verschieden. Ein wacher Fahrer ist zwar eine notwendige Bedingung, um sich auf ein externes Ereignis fokussieren zu können, aber nicht hinreichend, da ein wacher Fahrer gleichzeitig auch unaufmerksam sein kann.

#### **2.1.1.1. Müdigkeit**

Die Wachheit kann durch Müdigkeit negativ beeinflusst werden. Nach dem Modell von May und Baldwin (2009) existieren drei Arten von Müdigkeit: die schlafbezogene Müdigkeit (*sleep-related fatigue*), die aktive Erschöpfung (*active task-related fatigue*) und die passive Erschöpfung (*passive task-related fatigue*). Die schlafbezogene Müdigkeit tritt bedingt durch den circadianen Rhythmus, bei Schlafentzug oder Schlafstörungen auf. Die aktive Erschöpfung bezieht sich auf die Erschöpfung mentaler Ressourcen durch (über-)beanspruchende Fahrsituationen, wie z. B. die gleichzeitige Beschäftigung mit der Fahraufgabe und der fahrfremden Tätigkeit oder anhaltende unübersichtliche und komplexe Fahrsituationen. Die passive Erschöpfung als Gegenteil der aktiven Erschöpfung entsteht bei andauernder Unterbeschäftigung, Monotonie und Langweile. Dies ist z. B. der Fall bei längeren monotonen Fahrten oder bei automatisierten Systemen. Aus diesem Grund spielt die passive Erschöpfung bei der hochautomatisierten Fahrzeugführung eine wichtige Rolle. In einem engen Zusammenhang mit der passiven Erschöpfung steht das Phänomen Hypovigilanz. Vigilanz ist die Fähigkeit auf selten auftretende Reize adäquat zu reagieren (Pawlik, 2006). Gerade bei hochautomatisierten Fahrzeugen, bei denen der Fahrer keinen aktiven Part übernimmt, sondern nur als Rückfallebene bei Erreichen der Systemgrenze zur Verfügung stehen muss, ist diese Fähigkeit von großer Bedeutung. Bei andauernder Unterforderung kann es zu einem Vigilanzdekrement kommen, zur sog. Hypovigilanz, bei welcher der Fahrer in einen Zustand verminderter Aufmerksamkeit fällt und nicht mehr oder nur noch begrenzt in der Lage ist, Veränderungen in der Umwelt wahrzunehmen und eine angemessene Reaktion bei der Übernahme der Fahrzeugkontrolle zu zeigen. Ursache hierfür ist häufig das sog.

*Mind Wandering*, bei dem der Fahrer durch aufgabenfremde Gedanken von der Fahrszene abgelenkt ist (Körber, Cingel, Zimmermann & Bengler, 2015).

### **2.1.1.2. Abgrenzung der Konstrukte Müdigkeit, Vigilanz und Ablenkung**

An dieser Stelle wird bereits ersichtlich, dass die Konstrukte Vigilanz, Müdigkeit und Ablenkung auf Grund von Abhängigkeiten nicht vollständig getrennt voneinander betrachtet und untersucht werden können. Eine Verringerung der Vigilanz kann sowohl durch Müdigkeit als auch durch Monotonie und Langeweile begünstigt werden. Als Folge der Monotonie können verschiedene Kompensationsstrategien angewendet werden. Hierzu gehört die Ablenkung von der monotonen Umwelt durch aufgabenfremde Gedanken (*Mind Wandering*, nach der *Mindlessness Theory* von Robertson, Manly, Andrade, Baddeley und Yiend (1997) und Helton und Warm (2008)) oder durch fahrfremde Tätigkeiten. Bei beiden Strategien wird Aufmerksamkeit von der Verkehrssituation in der Umgebung des Fahrzeugs abgezogen, was eine verminderte Reaktionsfähigkeit zur Folge haben kann (Robertson et al., 1997).

### **2.1.1.3. Erfassung von Müdigkeit und Vigilanz**

Um Müdigkeit und Vigilanz erfassen zu können, existieren objektive und subjektive Messtechniken. Objektiv kann Müdigkeit durch Blickdaten erfasst werden. Eine valide Metrik hierbei ist PERCLOS (*percentage of eye closure*). Bei dieser Metrik wird der Zeitanteil innerhalb einer Minute berechnet, in der das Auge zu 80 oder mehr Prozent geschlossen ist (Wierwille, Ellsworth, Wreggit, Fairbanks & Kirn, 1994). Außerdem ist die Zunahme der Blinzeldauer und -frequenz ein starker Indikator für die Zunahme von Müdigkeit (Damböck, 2013; Schleicher, Galley, Briest & Galley, 2008; Schmidt et al., 2009). Darüber hinaus kann Müdigkeit über physiologische Daten, wie die Kopfposition (Bergasa, Nuevo, Sotelo, Barea & Lopez, 2006; Hartley, 2000), die Herzfrequenz (Schmidt et al., 2009), Elektroenzephalografie (EEG) (Schmidt et al., 2009) und die Körperposition im Fahrersitz (Rosario, Solaz, Rodríguez & Bergasa, 2010) erfasst werden. Neben der direkten Erfassung kann Müdigkeit auch subjektiv erfasst werden. Hierzu wurden verschiedene Fragebögen entwickelt, wie z. B. der *Karolinska Sleepiness Scale* (KSS) (Schmidt et al., 2009) und der *Epworth Sleepiness Scale* (ESS) (Johns, 1991). Vigilanz kann ebenfalls über Blickverhalten

direkt erfasst werden: Metriken hierfür sind zum einen ebenfalls die Blinzeldauer und -frequenz (McIntire, McKinley, Goodyear & McIntire, 2014) und zum anderen die sog. *Scanning Rate*, die Anzahl der Blickfixationen in der vorher festgelegten *Area of Interest* (AOI). Die AOI kann z. B. die Fahrszene darstellen. Indikatoren für die Abnahme des Vigilanzlevels sind bei den Blickdaten eine Abnahme der horizontalen Blickverteilung und der Überprüfung der Seitenspiegel (He, Becic, Lee & McCarley, 2011) sowie die Abnahme der Blickhäufigkeiten auf die AOIs und die Zunahme der Zeit zwischen den relevanten Fixationen (Ratwani, McCurry & Traflet, 2010). Darüber hinaus kann Vigilanz durch die Erfassung von Reaktionszeiten gemessen werden. Hierfür gibt es eigens konzipierte Vigilanztests, wie z. B. eine akustische Nebenaufgabe, bei der Reaktionszeiten auf seltene akustische Stimuli gemessen werden (Körber et al., 2015; Schmidt et al., 2009) (Körber et al., 2015; Schmidt et al., 2009) oder der klassische Mackworth Clock-Test (Mackworth, 2008), bei dem auf einen visuellen Reiz reagiert werden muss. Neben diesen Tests kann Vigilanz außerdem über einen *Mind Wandering Questionnaire* abgefragt werden, wie z. B. durch den *Dundee Stress State Questionnaire* (DSSQ) (Körber et al., 2015).

### **2.1.2. Aufmerksamkeit**

Die selektive, auf die Fahraufgabe gerichtete Aufmerksamkeit des Fahrers stellt neben der Wachheit die zweite Säule des HAVEit-Fahrerzustandsmodells dar. Bei der Fahrzeugführung ist die Wahrnehmung und Informationsverarbeitung auf die Fahraufgabe gerichtet (Engström et al., 2013).

#### **2.1.2.1. Ablenkung**

Die Aufmerksamkeit kann negativ durch Ablenkung beeinflusst werden. Da der Mensch nur über begrenzte Ressourcen verfügt, müssen diese Ressourcen bei gleichzeitiger Beschäftigung mit mehreren Aufgaben aufgeteilt werden. Sobald eine gewisse Grenze überschritten wird, muss eine der Aufgaben priorisiert werden. Im Falle einer Priorisierung der fahrfremden Tätigkeit über die Fahraufgabe kann es zu einer Verminderung der Fahrleistung kommen (Kahneman, 1973).

### 2.1.2.2. Erfassung von Ablenkung

Visuelle Ablenkung kann durch Blickdaten erfasst werden. Hierfür sind zum einen die Blicke mit einer Dauer von 1,5 bis 2 Sekunden weg von der Straße ein wichtiger Indikator (ISO 15007-1). Zum anderen geben auch die Blickhäufigkeiten zu bestimmten Zielen bzw. AOIs (Straße, Spiegel, etc.) Aufschluss über die visuelle Ablenkung des Fahrers (Damböck, 2013; ISO 15007-1; Zeeb, Buchner & Schrauf, 2015). Darüber hinaus geben die Aktivitäten, mit welchen sich der Fahrer im Fahrzeug beschäftigt, Aufschluss über die kognitive Ablenkung (Rauch et al., 2009). Außerdem kann Ablenkung, wie auch Vigilanz, durch einen *Mind Wandering Questionnaire* subjektiv erfasst werden (Körper et al., 2015). Abschließend wird als indirektes Maß für den Fahrerzustand die Übernahmeleistung angeführt, die sowohl Indikator für Müdigkeit als auch für Ablenkung sein kann. Wichtige Faktoren der Übernahmeleistung sind Reaktions- und Übernahmezeiten, *Time-to-Collision* (TTC) sowie die maximal auftretende Längs- und Querschleunigung (Gold, Damböck, Lorenz & Bengler, 2013; Neubauer, Matthews & Saxby, 2014; Petermann-Stock, Hackenberg, Muhr & Mergl, 2013). Als Übernahmezeit wird die Zeit angesehen, die der Fahrer nach der Übernahmeaufforderung (engl. *take-over request*, Abk. TOR) benötigt, um das erste Mal bewusst in die Fahrzeugführung einzugreifen. Als bewusster Eingriff gilt eine Überschreitung der Bremspedalstellung von 10 % des Maximalwerts oder des Lenkradwinkels (gemessen an der Lenkradsäule) um 2° (Gold et al., 2013). Unter der TTC wird die Zeit verstanden, die bis zum theoretischen Zusammenstoß des simulierten Fahrzeugs (Ego-Fahrzeug) mit dem Hindernis verbleibt.

## 2.2. Erweiterung des Fahrerzustandsmodells

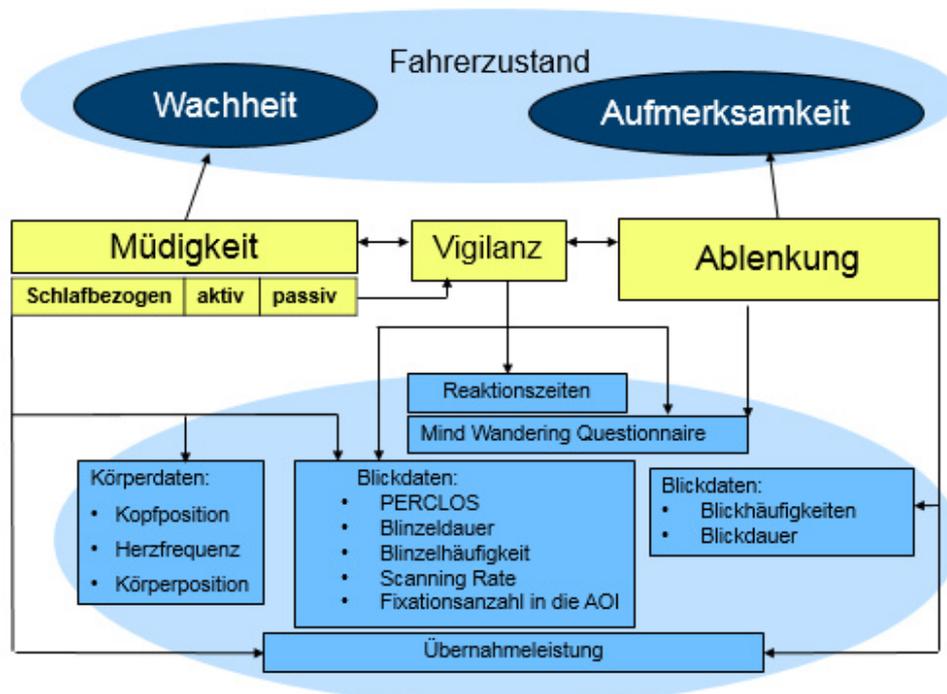


Abbildung 2-2: Ergänztes Fahrerzustandsmodell

Abbildung 2-2 zeigt eine Erweiterung des HAVEit-Fahrerzustandsmodells. Dieses wurde um das Müdigkeitsmodell nach May und Baldwin (2009) und das Konstrukt Vigilanz ergänzt. Außerdem werden geeignete Metriken zur Erfassung der einzelnen Konstrukte und deren Zuordnung dargestellt.

## 2.3. Auswirkungen von Automationsdauer und natürliches Verhalten

Derzeit ist noch wenig über den Einfluss einer längeren Automationsdauer bekannt. Meist werden lediglich kurze automatisierte Zyklen von wenigen Minuten gefahren und anschließend die Auswirkungen verschiedener Faktoren, etwa der Verkehrsdichte, der Nebentätigkeit oder des Alters der Probanden auf die Übernahmeleistung geprüft (Gold & Bengler, 2014; Gold, Berisha & Bengler, 2015; Petermann-Stock et al., 2013). Bei einer Umfrage unter potenziellen Nutzern wurden jedoch insbesondere lange Autobahnfahrten als bevorzugte Einsatzmöglichkeit des automatisierten Fahrens genannt (Sommer, 2013). Mit der Entwicklung von Funktionen, wie z. B. dem Autobahn-Chauffeur, versuchen die Fahrzeughersteller diesem gewünschten Anwendungsfall gerecht zu werden. Eine umfassende

Literaturrecherche ergab, dass bisher nur wenige Studien existieren, die sich mit den Auswirkungen längerer automatisierter Zeitspannen beim hochautomatisierten Fahren beschäftigen. Bei Neubauer et al. (2014) und Saxby, Matthews, Warm, Hitchcock und Neubauer (2013) wurden aktive und passive Müdigkeit bei automatisierten Fahrten von 25 min bzw. 50 min betrachtet. Beide Müdigkeitsarten (aktive und passive) wurden durch den DSSQ erfasst. Eine direkte Erfassung beispielsweise über das Blickverhalten erfolgte nicht. Eine weitere Studie mit längerer Automationsdauer ist von Neubauer, Matthews, Saxby und Langheim (2011). Die Autoren konnten nach einer 35-minütigen, hochautomatisierten Fahrt ohne fahrfremde Tätigkeiten starke Anzeichen für Müdigkeit feststellen. Feldhütter, Gold, Schneider und Bengler (2016) fanden in einer Studie keine Unterschiede bei einem Vergleich zweier Übernahmezeitpunkte (nach fünf oder 20 min). Lediglich im Blickverhalten zeigten sich Unterschiede: nach 20 min ließen die Probanden ihre Blicke stärker schweifen, was als Anzeichen für Langeweile und Monotonie gedeutet wird.

Omae, Fujioka, Hashimoto und Shimizu (2006) gehen in einem Realfahrzeugversuch der Frage nach, wie sich die Automationsdauer auf die Reaktionszeit nach einem Systemfehler auswirkt. Es konnte gezeigt werden, dass eine längere Dauer zu längeren Reaktionszeiten führt. Probanden durften sich zudem während der Fahrt mit mitgebrachten Gegenständen beschäftigen. Das Testfahrzeug fuhr jedoch aus Sicherheitsgründen lediglich zehn bis 15 km/h und war auf einem abgesperrten Testgelände unterwegs.

Zur veränderten Rolle des Fahrers beim hochautomatisierten Fahren gehört auch die Möglichkeit, sich mit fahrfremden Tätigkeiten zu beschäftigen. Dies wiederum hat große Auswirkungen auf den Fahrerzustand. Waard (1996) fand heraus, dass die durch die Entlastung von der Fahraufgabe freiwerdenden Kapazitäten zum Teil wieder in die Bearbeitung der Nebenaufgabe gesteckt werden, da der Mensch bestrebt ist, ein gewisses Anreigungslevel zu halten und so Monotonie zu vermeiden. Ähnlich konnte beispielsweise Malta et al. (2012) herausfinden, dass bereits Fahrer, welche ein Adaptive Cruise Control (ACC) und ein Forward-Collision-Warning-System nutzen, mit dreimal so großer Wahrscheinlichkeit einer Nebentätigkeit nachgehen, wie Fahrer ohne unterstützende Assistenzsysteme. Auch Llaneras, Salinger und

Green (2013) konnten zeigen, dass ein System aus ACC und Spurhalteassistenten die Wahrscheinlichkeit einer Nebenaufgabe und der Blickabwendung erhöht. Zudem steigt Carsten, Lai, Barnard, Jamson und Merat (2012) zufolge die Betätigung mit fahrfremden Tätigkeiten von manueller Fahrt über teilautomatisiertes Fahren bis zum hochautomatisierten Fahren an. Die Effekte dieser Tätigkeiten auf den Fahrerzustand sind jedoch umstritten. Schömig, Hargutt, Neukum, Petermann-Stock und Othersen (2015) fand während einer 15-minütigen hochautomatisierten Simulatorfahrt eine positive Wirkung einer interessanten und motivierenden Nebenaufgabe (das Quiz-Spiel „Wer wird Millionär“) auf die Wachheit (gemessen über das Lidschlussverhalten) des Fahrers. Ebenso konnten Neubauer, Matthews und Saxby (2012) zeigen, dass eine Handynutzung in bestimmten Fällen die Wachheit (gemessen über die Bremsreaktionszeit) erhöht. Andererseits konnten Neubauer et al. (2014) in einer weiteren Studie diese positive Wirkung von Handygesprächen oder dem Spielen des Spiels „Trivia“ auf die Reaktionszeit nicht replizieren. Feldhütter et al. (2016) konnte ebenso keinen Einfluss einer Nebentätigkeit, des Surrogate Reference Tasks, auf die Übernahmequalität finden. Denkbar ist zudem auch eine Verschlechterung der Reaktionsfähigkeit durch die Aufnahme fahrfremder Tätigkeiten aufgrund steigender Ablenkung (Neubauer et al., 2012). Merat, Jamson, Lai und Carsten (2012) konnten einen negativen Effekt des Twenty Question Tasks auf die Übernahmequalität beobachten. Radlmayr, Gold, Lorenz, Farid und Bengler (2014) konnten keine unterschiedliche Wirkung des Surrogate Reference Tasks (vor allem visuelle Ablenkung) und n-back Tasks (vor allem kognitive Ablenkung) auf das Fahrerverhalten während der Übernahme feststellen.

Einen Zusammenhang zwischen Arousal (Aktivierung, Erregung) und Leistung stellt die Yerkes-Dodson-Law dar (Cohen, 2011). Sie besagt, dass die bestmögliche Leistung im mittleren Arousal-Bereich erreicht wird und sowohl bei Über- als auch bei Unterforderung die Zuverlässigkeit des menschlichen Bedieners sinkt. Hochautomatisierte Fahrfunktionen könnten das Arousal-Niveau absenken und so bei einer Übernahme eine niedrige Performance zur Folge haben (siehe Abbildung 2-3). Somit besteht die Motivation, das Aktivierungsniveau auf ein mittleres Niveau zu bringen und zu halten. Die Zuwendung zu fahrfremden Tätigkeiten hat also einen bedeutsamen Einfluss auf den Fahrerzustand, bedarf jedoch noch genauerer Untersuchungen. Derzeit ist lediglich bekannt, dass sich Menschen während einer

hochautomatisierten Fahrt vermutlich einer fahrfremden Tätigkeit zuwenden, nicht jedoch welcher Art diese Tätigkeit ist und wie sie sich diese natürlichen Tätigkeiten auf den Fahrerzustand und die Übernahmequalität auswirkt.

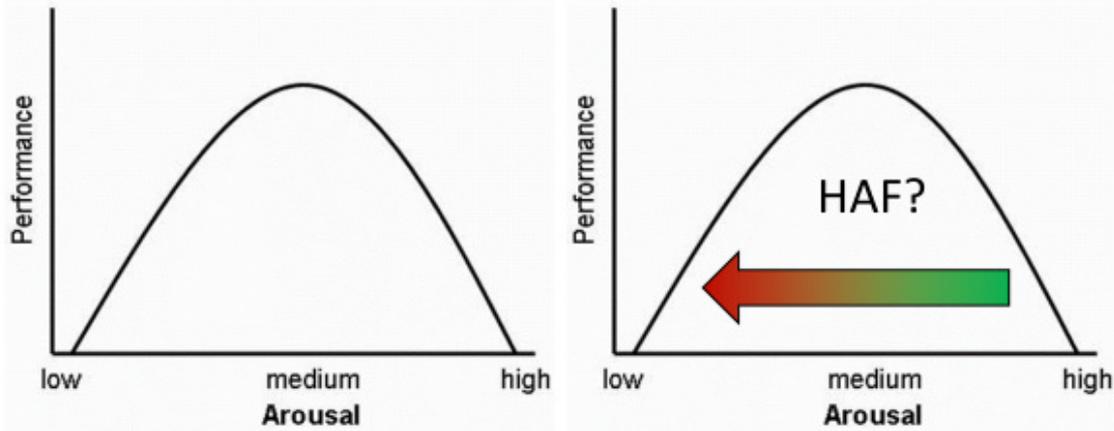


Abbildung 2-3: Yerkes-Dodson-Law (Cohen, 2011) und eine mögliche Änderung bei der hochautomatisierten Fahrt (Radlmayr, 2015)

In vergleichbaren Situationen, etwa bei Zug- oder Busfahrten, gehen Menschen bereits heute vielfältigen Tätigkeiten nach. So fand etwa das internationale Bahnunternehmen Thalys heraus, dass ihre Kunden am häufigsten Zeitungen oder Zeitschriften lesen, zudem gerne entspannen und Tätigkeiten wie dem Lesen eines Buches und Musik hören nachgehen (Thalys, 2013). Auch „schlafen“, „spielen auf dem Handy, Laptop oder Tablet“ wird häufig genannt. Russell, Price, Signal und Stanley (2011) beobachteten Passagiere in Bussen und Bahnen und stellten dabei fest, dass die häufigsten Tätigkeiten „aus dem Fenster schauen“, „lesen“ und „Musik bzw. Hörbuch hören“ waren. Zudem konnten Unterschiede zwischen den Geschlechtern, unterschiedlichen Altersklassen und den Transportmitteln festgestellt werden. In einer weiteren Studie zum Thema Reisendenverhalten beschäftigen sich Susilo, Lyons, Jain und Atkins (2013) mit Aspekten des Bahnreisens. Die Frage nach der Zeitnutzung wurde in dieser Studie am häufigsten mit „lesen“ beantwortet, gefolgt von „aus dem Fenster schauen“ und „telefonieren“ bzw. „SMS schreiben“. Ein weiteres Ergebnis dieser Studie ist, dass die Aktivität vor der Reise keinen Einfluss auf die Tätigkeit während der Reisezeit hat, sondern vielmehr ein Zusammenhang zwischen Reisezweck und der Verwendung der Reisezeit besteht. Wie bereits von Thalys (2013) herausgefunden, konnte auch hier gezeigt werden, dass während einer

Geschäftsreise wesentlich mehr Zeit mit Arbeiten verbracht wird. Pendler hingegen nutzen die Zeit mehr zum Lesen, Schlafen und Musik hören. Während einer Privatreise hingegen verbringen die befragten Personen viel Zeit damit, einfach nur zu entspannen. Neben dem Reisezweck hat zudem auch die Reisedauer einen Einfluss auf die ausgeübten Tätigkeiten: Je kürzer die Reise, desto weniger verschiedene Tätigkeiten werden ausgeübt und desto mehr wird aus dem Fenster geschaut. Die mit der Bahnreise verbrachte Zeit wurde von lediglich 13 % der Befragten als verschwendet betrachtet, 85 % gaben sogar an, die Zeit zumindest teilweise sinnvoll zu nutzen. Auch diese Zahlen zeigen das Potenzial des automatisierten Fahrens, denn heute wird die Reisezeit im Auto AutoScout24 GmbH (2011) zufolge von 46 % als verlorene Zeit betrachtet. Besonders Besserverdiener wünschen sich laut dieser Studie, das Auto als mobiles Büro nutzen zu können.

Die Erwartungshaltung hinsichtlich möglicher Tätigkeiten im hochautomatisierten Auto ist derzeit noch zurückhaltend: Sommer (2013) fand im Rahmen der Continental Mobilitätsstudie 2013 heraus, dass sich Nutzer am liebsten mit „Musik oder Radio hören“ beschäftigen wollen, gefolgt von „Unterhaltungen mit den Mitfahrern“, „telefonieren“, „E-Mails lesen oder schreiben“ und „Surfen auf einem bordinternen Display“. Lediglich zwei Prozent gaben an, überhaupt nichts tun zu wollen. Auffällig ist, dass die genannten Tätigkeiten hauptsächlich solche sind, die auch heute schon im PKW ausgeübt werden können. Diese Ergebnisse konnte Hecht (2014) in einer Onlineumfrage bestätigen.

Derzeit ist also nicht sicher, wie Menschen während einer hochautomatisierten Fahrt ihre Zeit nutzen, zudem fehlt eine Methode, um solche natürlichen Verhaltensweisen bei den Probanden eines Versuchs hervorzurufen. Meist wird, wie etwa bei Körber et al. (2015), Merat et al. (2012) und Rothkirch (2013), eine Nebenaufgabe über artifizielle Aufgaben, etwa den n-back Task, Oddball-Paradigm oder den 20-Questions Task, simuliert. Lediglich Jamson, Merat, Carsten und Lai (2013) beobachteten während der hochautomatisierten Fahrt die Tendenz des Fahrers, sich signifikant mehr mit In-Vehicle-Entertainment zu beschäftigen. Omae et al. (2006) beobachtet während der einstündigen automatisierten Fahrt im Realfahrzeug, dass acht von 30 Probanden einschlafen. Weitere Beschäftigungen waren Lesen, Handynutzung und Laptopnutzung. Jedoch wurde in dieser Studie der Fahrerszustand

nicht anhand physiologischer Parameter erfasst, es wurden stattdessen Systemausfälle zu verschiedenen Zeitpunkten simuliert und die Reaktion der Probanden ausgewertet.

### **3. Vorversuch**

Wie bereits im vorherigen Abschnitt erläutert, spielt der Faktor Fahrdauer hinsichtlich des Fahrerzustands, insbesondere hinsichtlich der Phänomene *Mind Wandering*, Hypovigilanz und Müdigkeit eine wichtige Rolle. Eine Ursache für die geringe Anzahl an Studien zu diesen Themenbereichen beim HAF ist, dass diese Phänomene unter Versuchsbedingungen äußerst schwierig zu erzeugen sind. Problematisch hierbei ist, dass weder eine geeignete Methodik zur Herstellung von *Mind Wandering* noch eine Metrik, um es zu erfassen, existiert. Daher wird nun im folgendem das Versuchsdesign präsentiert, welches die Zustände Hypovigilanz und Müdigkeit sowie das Phänomen *Mind Wandering* induzieren soll, um anschließend geeignete Metriken zur jeweiligen Erfassung ableiten zu können. Im Vorversuch soll also zunächst die Grundlage zur Erzeugung und Erfassung der genannten Zustände/Phänomene gelegt werden, um anschließend bei einem Hauptversuch noch andere Einflussfaktoren auf *Mind Wandering* berücksichtigen zu können. Dieses Vorgehen ist in Abbildung 3-1 dargestellt.

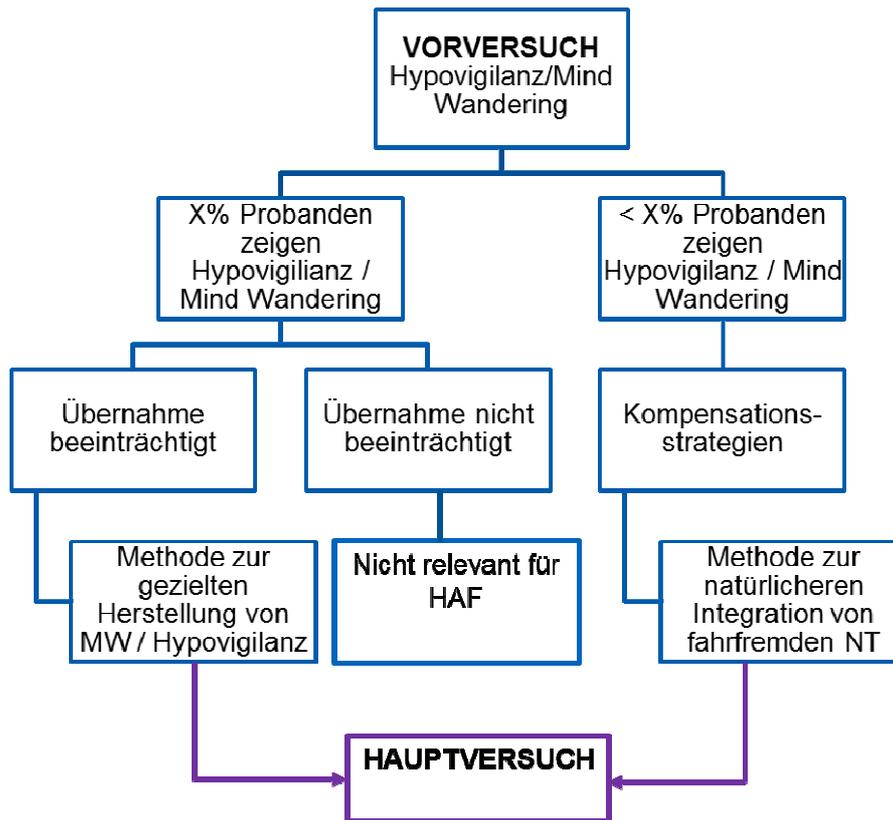


Abbildung 3-1: Vorgehen bei der Versuchsplanung des Vorversuchs

### 3.1. Versuchsdesign

Der Vorversuch fand im statischen Fahrsimulator des Lehrstuhls für Ergonomie statt (siehe Abbildung 3-2). Dieser besteht aus einem mittig platzierten Mock-up-Fahrzeug, sechs Leinwänden zur Darstellung der Fahrszenarie und einem Leitstand im hinteren Drittel des Raums, welcher unter anderem der Videoüberwachung des Versuchs dient. Von dort kann der Versuchsleiter während der Versuchsfahrt über eine Gegensprechanlage mit dem Probanden kommunizieren.

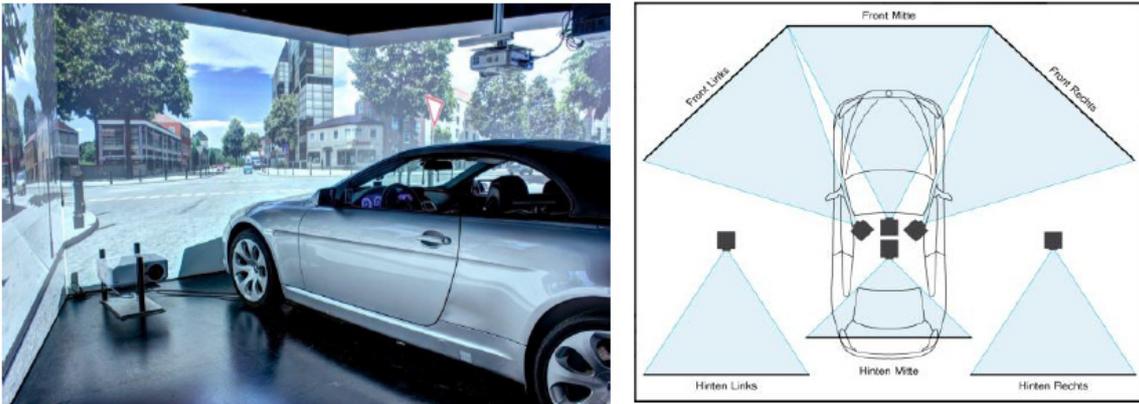


Abbildung 3-2. Statischer Fahrsimulator des Lehrstuhl für Ergonomie (Lehrstuhl für Ergonomie, TU München, 2016)

Die Fahrumgebung wird über je drei Projektoren für die Front- und Rückansicht auf die umgebenden Leinwände projiziert. Diese ermöglichen dem Probanden eine Frontsicht aus Windschutzscheibe und Seitenfenstern von ca. 180° und eine Rückansicht für die Seiten- und Rückspiegel. Weiter sorgt eine Sechs-Kanal Geräuschsimulation von Motor- und Umgebungsgeräuschen für die akustische Rückmeldung.

Grundlage für die Simulation einer realitätsnahen Fahrumgebung ist die Fahrsimulationssoftware SILAB des Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften. Die implementierte Automation ist in der Lage, Längs- und Querführung inklusive Fahrstreifenwechsel vollständig zu übernehmen und somit hochautomatisiertes Fahren zu simulieren. Zusätzlich zu Motordrehzahl und Geschwindigkeit wird der jeweilige Zustand der Automation im Kombidisplay angezeigt (siehe Abbildung 3-3). Zielgeschwindigkeit der Automation ist 120 km/h.



Abbildung 3-3: Anzeigesymbole der Automationszustände – Automation nicht verfügbar, Automation verfügbar – nicht aktiviert, Automation aktiviert (v.l.n.r.)

Zudem warnt das System den Fahrer beim Erreichen einer Systemgrenze. Dafür wird, wie in Abbildung 3-4 dargestellt, ein Piktogramm im unteren Teil des Kombidisplays eingeblendet, unterstützt von einem zweimalig ertönendem Piepton.



Abbildung 3-4: Übernahmepiktogramm im Kombidisplay des Mock-up-Fahrzeugs

### 3.1.1. Versuchseinführung

Ein wichtiger Faktor, der das Blickverhalten beeinflussen kann, ist das Vertrauen, das die Probanden in die Automation haben (Gold, Körber, Hohenberger, Lechner & Bengler, 2015). Daher war ein möglichst gleichmäßiges Systemvertrauen bei den Probanden wünschenswert, um Unterschiede im Blickverhalten durch unterschiedliche Vertrauenslevel zu vermeiden. Um dies zu erreichen, sollten die Probanden vor dem Versuch durch ein Video auf dasselbe Vertrauensniveau gebracht werden. Das etwa achtminütige Video zeigte eine fehlerfreie hochautomatisierte Fahrt mit einer Übernahmeaufforderung und anschließender unkritischer Übernahme durch den Fahrer. Um sicherzustellen, dass die Probanden während des Versuchs über ein ausgeglichenes Automationsvertrauen verfügten, füllten diese nach dem Video einen standardisierten Fragebogen zum Vertrauen in Automation aus von Jian, Bisantz und Drury (2000), der bereits in Studien von Gold et al. (2015) und Feldhütter, Gold, Hüger und Bengler (2016) verwendet wurde.

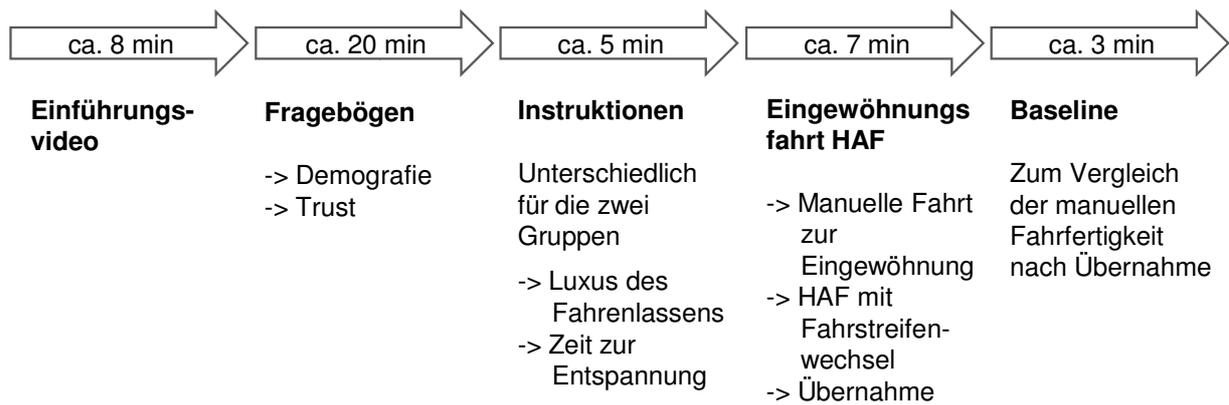


Abbildung 3-5. Ablauf Versuchseinführung Vorversuch

Anschließend erhielten die Probanden eine ausführliche Instruktion bzgl. des Leistungsvermögens der Automation. Die Instruktion machte deutlich, dass das automatisierte System nicht überwacht werden muss, die Probanden jedoch im Falle einer Übernahmeaufforderung als Rückfallebene zur Verfügung stehen müssen. Insgesamt wurde bei der Instruktion besonderen Wert daraufgelegt, dass die Versuchspersonen sich während der Fahrt entspannen und den Luxus des Gefahrenwerdens genießen können. Anschließend konnten sich die Probanden mithilfe einer Eingewöhnungsfahrt mit der Automation und auch der Übernahmeaufforderung vertraut machen. Als letztes sollten die Probanden drei Minuten manuell fahren, um eine Baseline der manuellen Fahrfertigkeiten aufzunehmen. Diese diente als Vergleich für eine gleich gestaltete Fahrt nach der automatisierten Versuchsfahrt, um zu überprüfen, ob eine Änderung in den Fahrfertigkeiten vorliegt.

Der gesamte Ablauf der Versuchseinführung kann Abbildung 3-5 entnommen werden.

### 3.1.2. Versuchsfahrt

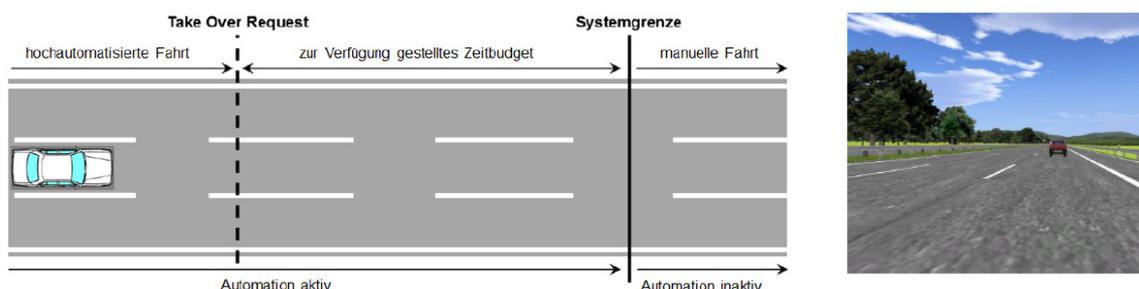


Abbildung 3-6. Die Übernahmesituation (links: nach Damböck, Farid, Tönert und Bengler (2012))

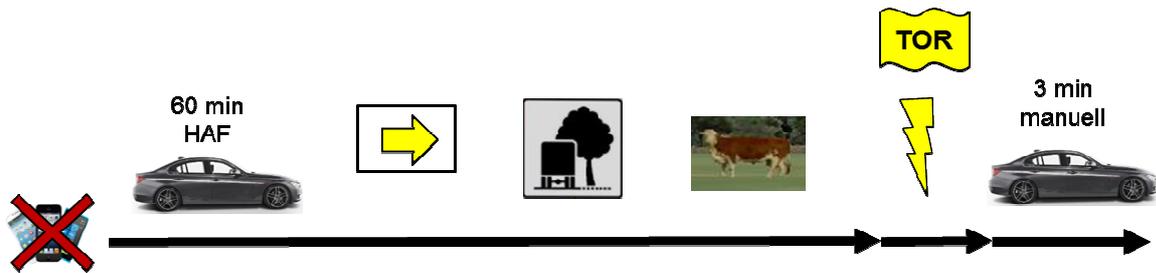


Abbildung 3-7: Das Versuchsdesign des Vorversuchs

Die gesamte Versuchsfahrt dauerte ca. 65 min. Zunächst erlebten die Probanden eine automatisierte Fahrt von 60 min. Um eine möglichst monotone Fahrt zu gewährleisten, fand die automatisierte Fahrt auf einer Autobahn mit drei Fahrstreifen statt. Es gab wenige Veränderungen im Verkehrsfluss und nur selten Überholmanöver. Während dieser 60 min kam es zu drei unkritischen Ereignissen: einem dreimaligen Blinken ohne nachfolgenden Fahrstreifenwechsel (nach 17 min), ein Verkehrsschild, welches auf der Autobahn nicht plausibel ist (nach 32 min) und eine Kuh, die sich sehr nah am Fahrbahnrand befand (nach 47 min) (siehe Abbildung 3-7). Nach der Versuchsfahrt wurden die Probanden befragt, ob sie die Ereignisse bemerkt haben. Die Antworten können gemeinsam mit den Blickdaten Aufschluss über die Aufmerksamkeit bzw. Vigilanz der Probanden während der Fahrt geben. Phänomene wie *looked but not seen*, welches einen starken Indikator für *Mind Wandering* darstellt, könnten durch diese Methode identifiziert werden.

Nach 60 min hochautomatisiertes Fahren erlebten die Probanden eine akustische Übernahmeaufforderung. Die Übernahme fand auf dem rechten Fahrstreifen statt und wurde durch ein plötzlich auftauchendes, auf diesem Fahrstreifen stehendes Fahrzeug vor dem Ego-Fahrzeug initiiert (siehe Abbildung 3-6, rechts). Da die Übernahme nicht zu kritisch ausfallen sollte, wurde ein Zeitbudget von 6 s umgesetzt, was bei einer simulierten Geschwindigkeit von 120 km/h einer Distanz des auftauchenden Fahrzeugs von 200 m vor dem Ego-Fahrzeug entspricht. Der mittlere und linke Fahrstreifen, welche für Ausweichmanöver zur Verfügung standen, wurde mit keinem zusätzlichen Verkehr versehen. Nach der Übernahme startete die dreiminütige manuelle Fahrt. Die Fahrdaten dieser Fahrt werden bei der Auswertung mit denen der Baseline verglichen und auf Unterschiede überprüft. Dadurch kann ermittelt werden, ob sich durch eine längere Automationsfahrt die manuelle Fahrleistung verschlechtert. Abbildung 3-7 zeigt das gesamte Versuchsdesign.

### **3.1.3. Abhängige Variablen und Messtechnik**

Um das Auftreten von *Mind Wandering*, Hypovigilanz und Müdigkeit zu erfassen, wurden während der gesamten Fahrt Blickdaten erfasst. Hierzu zählen PERCLOS, Scanning Rate, Blinzelhäufigkeiten und Blinzeldauern sowie spezielle Blickmuster im Blickverhalten. Außerdem wurde die Ablenkung der Probanden durch Häufigkeit und Dauer der Blickabwendungen von der Fahrscene erfasst. Für die Aufzeichnung der Blickdaten kam das Eyetracking-System Dikablis 5 (D-Lab 3.1) der Firma Ergoneers zum Einsatz. Neben Blickdaten wurde außerdem noch die Herzfrequenz mit einem Garmin Pulsmessgurt aufgezeichnet. Um eine Änderung der Blickdaten und der Herzfrequenz über die Versuchsfahrt zu erkennen, sollen die Daten alle 10 min (10., 20., 30., 40., 50. und 60. Minute) für 60 s ausgewertet und verglichen werden.

Die Übernahmeleistung wird durch die Übernahmezeit, die TTC, die maximale Längsbeschleunigung und die maximale Querbeschleunigung erfasst. Als Übernahmezeit wird die Zeit bezeichnet, die der Fahrer nach der Übernahmeaufforderung benötigt, um das erste Mal bewusst in die Fahrzeugführung einzugreifen. Unter der TTC wird die Zeit verstanden, die bis zum theoretischen Zusammenstoß des simulierten Fahrzeugs (Ego-Fahrzeug) mit dem Hindernis verbleibt.

Während der beiden manuellen Fahrten wird die Fahrleistung hinsichtlich Quer- und Längsführung ausgewertet. Die Qualität der Quersführung wird durch die *Standard Deviation of Lane Position* (SDLP), die Anzahl der 1°-Lenkradumkehrungen pro Minute und durch die *High Frequency Control of Steering* (HFS) beurteilt. Die SDLP gibt Aufschluss über die Spurhaltequalität, während die Anzahl der Lenkradumkehrungen und die HFS aussagt, wie viel Lenkaufwand hierfür notwendig ist. Die Längsführung wird durch die minimale und maximale Geschwindigkeit sowie die Durchschnittsgeschwindigkeit erfasst.

### **3.1.4. Versuchsende und Debriefing**

Nach der Versuchsfahrt wurden mehrstufig die in der Versuchsfahrt vorgekommenen Ereignisse (Blinken ohne Fahrstreifenwechsel, ungewöhnliches Schild, Kuh dicht am Fahrbahnrand) abgefragt. Zunächst wurde mithilfe einer offenen Fragestellung abgefragt, ob während der Fahrt Besonderheiten oder bestimmte Vorkommnisse

aufgefallen sind. Wenn die Probanden nicht alle Ereignisse nennen konnten, wurde ihnen eine Liste von Dingen vorgelegt, die sowohl die richtigen Ereignisse als auch falsche Vorkommnisse enthielt. Abschließend sollten die Probanden ein weiteres Mal den Trust Fragebogen und einen *Mind Wandering* Fragebogen, den Dundee Stress State Questionnaire (DSSQ), ausfüllen. Der DSSQ besteht aus 16 Items, die mögliche Gedanken während der erlebten Fahrt zum Gegenstand haben. Die Probanden beurteilen anhand einer fünfstufigen Likert-Skala, wie häufig sie die abgefragten Gedanken gehabt haben. Diesen standardisierten Items wurden außerdem noch fünf leere Felder hinzugefügt, die die Probanden durch eigene Gedanken ergänzen konnten. Die eigenen Gedanken mussten ebenfalls auf der fünfstufigen Likert-Skala eingeordnet werden. Auf die Verwendung eines Fragebogens zur Erfassung von Müdigkeit (KSS, ESS) wurde verzichtet, da dieser entweder eine Fahrtunterbrechung zur Folge gehabt hätte, oder bei einer Abfrage lediglich am Ende der Fahrt wenig aussagekräftig gewesen wäre.

### **3.1.5. Altersgruppen**

Die Probanden wurden auf drei Altersgruppen aufgeteilt, um einerseits ein großes Altersspektrum abzudecken und andererseits mögliche altersbedingte Auswirkungen auf Übernahme- und Fahrleistung, sowie Blickverhalten zu erfassen. Bei der Auswahl der Probanden aus der jungen Altersgruppe wurde darauf geachtet, dass die Probanden eine Fahrerfahrung von mindestens fünf Jahren mitbrachten, weil sich das Blickverhalten von Fahranfängern signifikant von dem erfahrener Fahrer unterscheidet (Underwood, 2007). Da das Blickverhalten bei der Erfassung des Fahrerzustands eine wichtige Rolle spielt, sollte dieser beeinflussende Faktor möglichst konstant gehalten werden.

## **3.2. Ergebnisse**

### **3.2.1. Probandenkollektiv**

An der Studie nahmen 14 Probanden teil, wovon acht Männer (57 %) waren. Das Probandenkollektiv umfasste drei Altersgruppen: Sechs Probanden waren aus der jungen Altersgruppe (23–39 Jahre), vier aus der mittleren Altersgruppe (40–59 Jahre) und vier aus der älteren Altersgruppe (60–75 Jahre). Außerdem hatte keiner der

Probanden Erfahrung mit hochautomatisiertem Fahren. Drei der Probanden aus der jungen Altersgruppe hatten in der Vergangenheit bereits an einem Fahrsimulatorversuch teilgenommen, verfügten demnach über Erfahrung mit dem Simulator.

Ein Proband musste aufgrund technischer Probleme während des Versuchs von der Auswertung ausgeschlossen werden. Außerdem mussten aufgrund von Hard- und Softwareproblemen mit dem Eyetracking-System während des Versuchs zehn Probanden für die Auswertung der Blickdaten ausgeschlossen werden.

### 3.2.2. Systemvertrauen

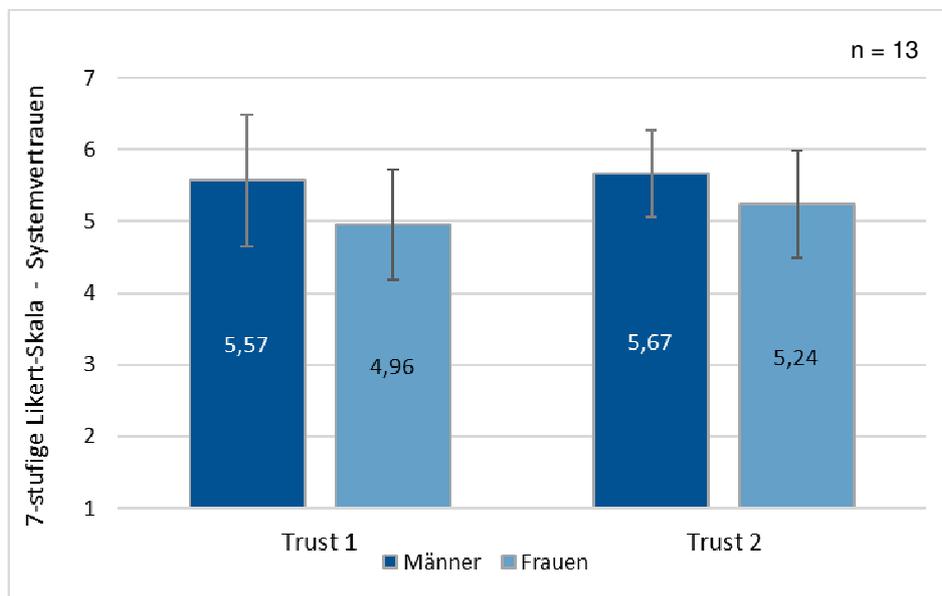


Abbildung 3-8. Das Systemvertrauen in Abhängigkeit des Geschlechts vor (Trust 1) und nach der Versuchsfahrt (Trust 2)

Ziel des vor der Versuchsfahrt gezeigten Einführungsvideos (vgl. Kapitel 3.1.1) war es, ein einheitliches Niveau an Systemvertrauen bei den Probanden herzustellen. Der Boxplot in Abbildung 3-9 zeigt, dass dieses Vorhaben noch nicht ausreichend gelungen ist. Vor der Versuchsfahrt (Trust 1) haben die Probanden zum einen eine sehr große Varianz in ihrem Vertrauen. Zum anderen zeigt sich eine linksschiefe Verteilung der Daten, was ebenfalls auf eine Unausgeglichenheit des Vertrauenslevels hinweist.

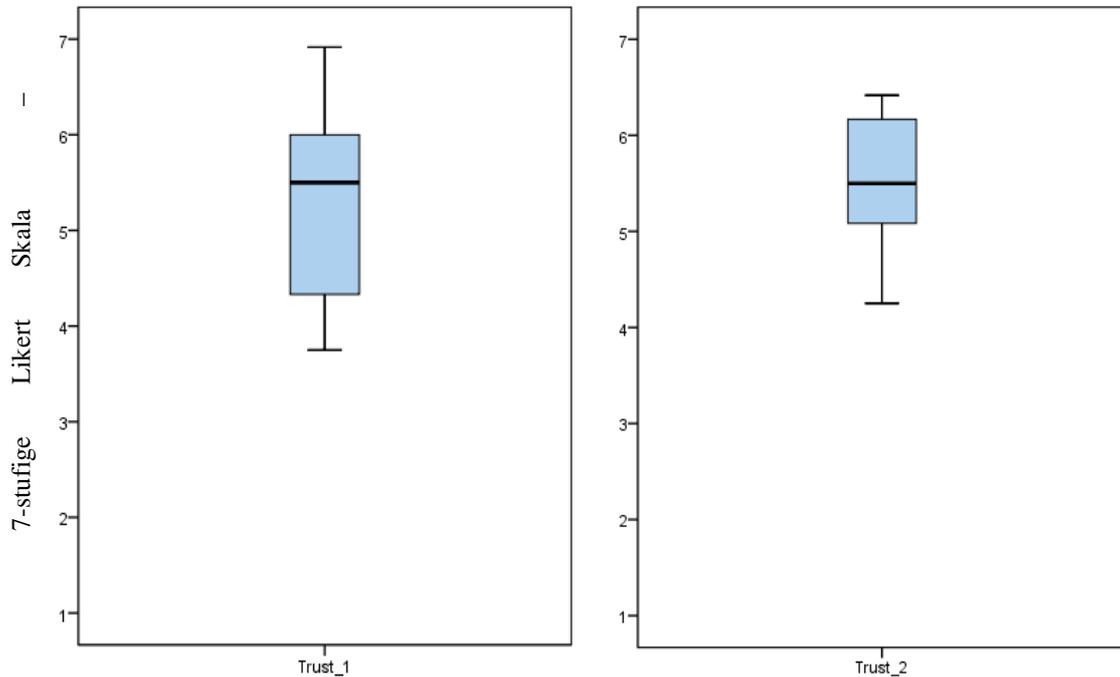


Abbildung 3-9. Das Systemvertrauen nach dem Video und vor der Versuchsfahrt (Trust 1) und nach der Versuchsfahrt (Trust 2).

Diese Varianz in den Daten kann zum einen durch einen geschlechterspezifischen Unterschied erklärt werden (Frauen vertrauen dem System tendenziell weniger, vgl. Abbildung 3-8) und zum anderen durch einen altersspezifischen Unterschied: Je älter die Probanden, desto größer das Vertrauen in die Automation ( $r = .437$ ,  $p = .118$ , vgl. Abbildung 3-10). Der Unterschied zwischen dem Systemvertrauen vor und nach der Versuchsfahrt zeigte sich als nicht signifikant, wenngleich die Verteilung der Daten durchaus eine Veränderung zeigt (siehe Abbildung 3-9). Aus dem geringen Unterschied zwischen den beiden Tests (vor und nach der Versuchsfahrt) kann geschlossen werden, dass das Video das System ausreichend realistisch beschreibt, da nach Erleben des Systems im Fahrsimulator keine Veränderung in der Wahrnehmung der Vertrauenswürdigkeit des Systems eingetreten ist.

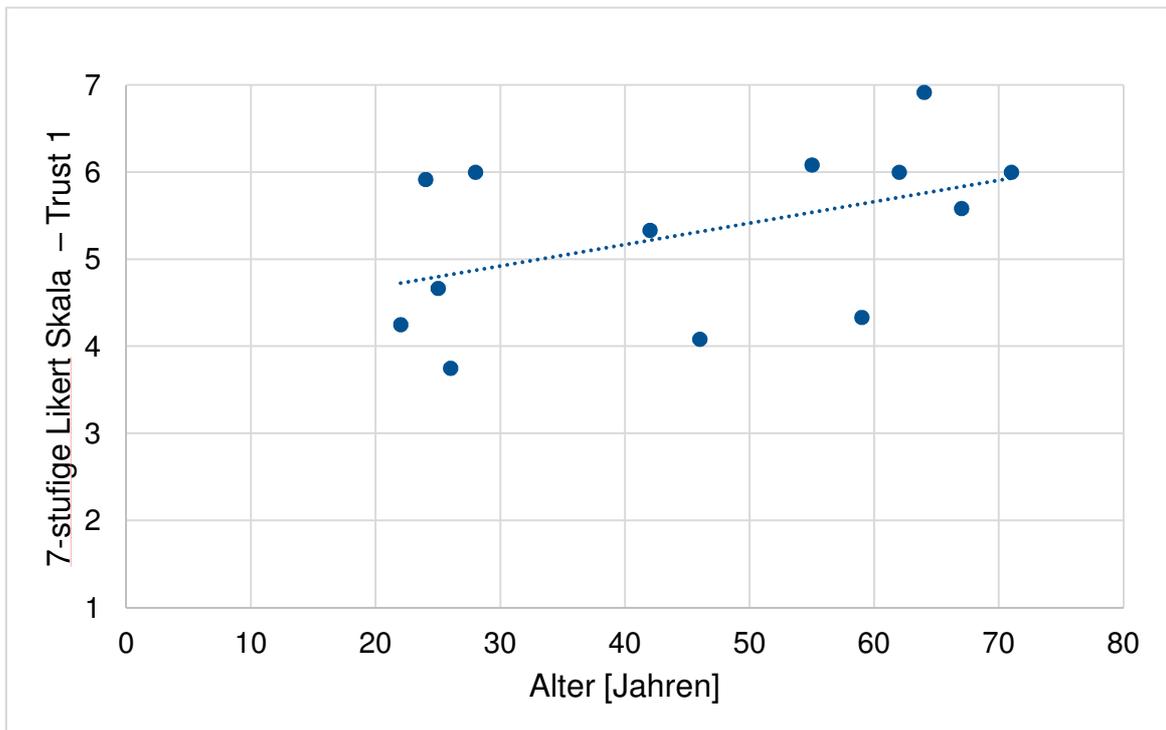


Abbildung 3-10. Das Systemvertrauen vor dem Versuch (Trust 1) in Abhängigkeit des Alters

### 3.2.3. Herzfrequenz

Aufgrund technischer Probleme, welche zum Abbruch der Aufzeichnung der Herzfrequenz führten, konnten lediglich die Daten von insgesamt sieben Probanden ausgewertet werden. Es wurden die Durchschnittswerte der Pulsmessdaten dieser Probanden in den Minuten 10, 30 und 50 miteinander verglichen (siehe Abbildung 3-11).

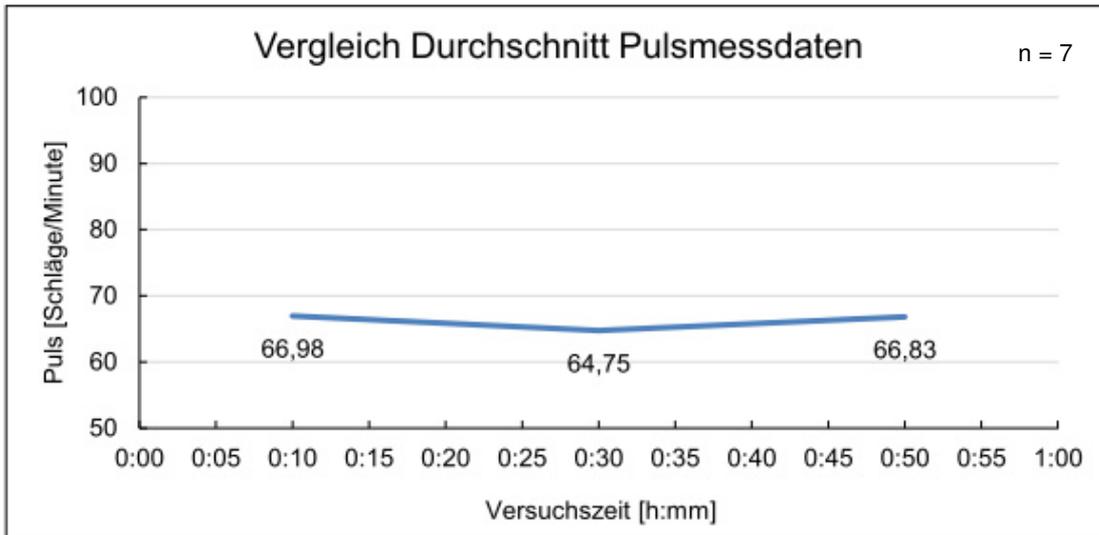


Abbildung 3-11: Durchschnittswerte der Pulsmessdaten aller verwendbaren Probandendatensätze für Minute 10, 30 und 50 der hochautomatisierten Fahrt

Es zeigt sich, dass die durchschnittliche Herzfrequenz zur Mitte der Versuchsfahrt hin leicht abfällt und gegen Ende wieder leicht ansteigt, was als Zeichen für eine sich erst verringernde, dann wieder auf das Ausgangsniveau ansteigende Aktiviertheit bzw. Wachheit gewertet werden kann. Aufgrund der geringen Stichprobengröße handelt es sich hierbei jedoch lediglich um eine Tendenz. Eine statistische Auswertung ist an dieser Stelle nicht sinnvoll.

### 3.2.4. Eyetracking-Daten

Die Erfassung von Blickdaten sollte Aufschluss über den Fahrerzustand bzw. über das Vigilanzniveau der Probanden geben. Wie erwähnt konnten aufgrund technischer Probleme lediglich die Daten von vier Probanden ausgewertet werden. Für diese wurden alle 10 min die Anzahl aller Blicke, die mittlere Dauer eines Blickes in Sekunden, die kumulierte Blickdauer aller Blicke in Sekunden und die horizontale Blickverteilung in Pixel zur Fahrszene innerhalb 60 s ausgewertet. Die Ergebnisse werden im Folgenden deskriptiv dargestellt.

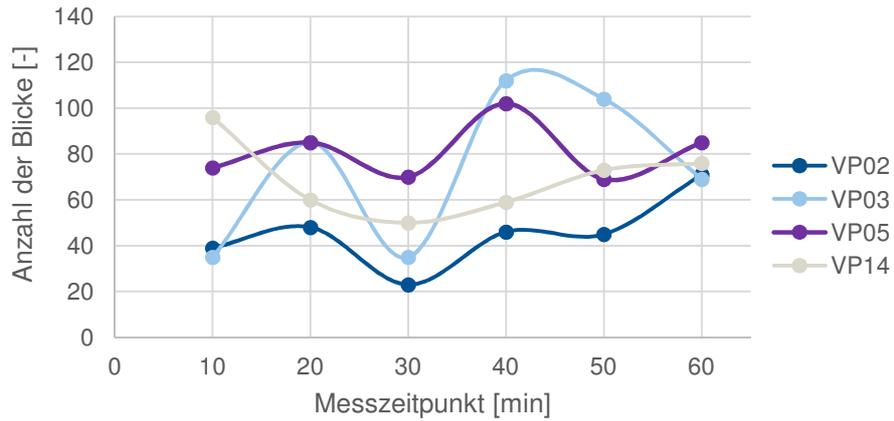


Abbildung 3-12. Entwicklung der Blickanzahl zur Fahrscene über die Versuchsfahrt

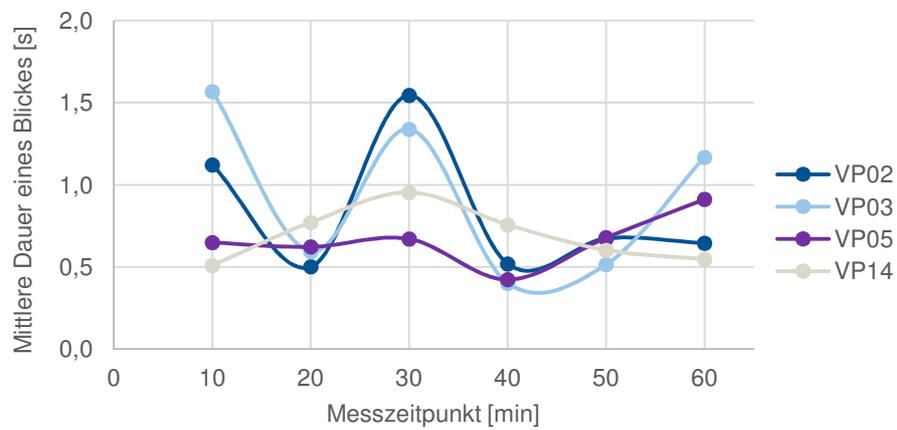


Abbildung 3-13. Entwicklung der mittleren Blickdauer zur Fahrscene über die Versuchsfahrt

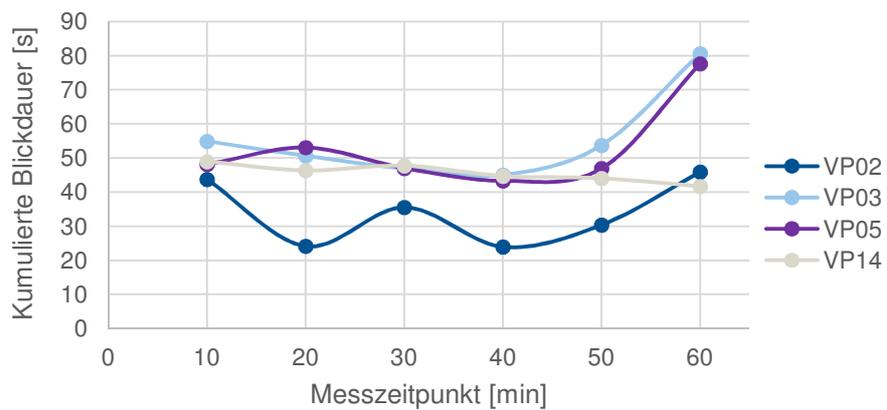


Abbildung 3-14. Entwicklung der kumulierten Blickdauer zur Fahrscene über die Versuchsfahrt

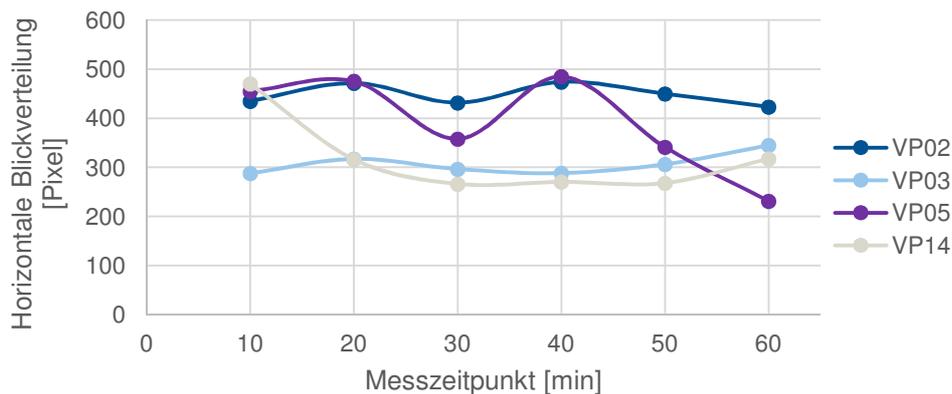


Abbildung 3-15. Entwicklung der horizontalen Blickverteilung über die Fahrszene innerhalb 60 s über die Versuchsfahrt

Besonders die Anzahl der Blicke (Abbildung 3-12) und die mittlere Dauer eines Blickes (Abbildung 3-13) zeigen eine Abweichung bei Minute 30: Die Anzahl der Blicke nimmt bei allen Probanden deutlich ab, während die mittlere Dauer eines Blickes bei allen Probanden zunimmt. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Probanden nicht mehr so häufig die Fahrszene beobachteten und die Blicke, welche zur Fahrszene geworfen wurden, starrer wurden. Dies kann wiederum ein Indikator für Hypovigilanz und Müdigkeit sein. Aufgrund der geringen Stichprobengröße kann dies jedoch lediglich eine Tendenz darstellen, die im Hauptversuch weiter untersucht werden muss.

### 3.2.5. Mind Wandering

Mind Wandering wurde auf zwei Arten erfasst, einerseits über das *Looked but not seen*-Phänomen, andererseits über den DSSQ. Ersteres bedeutet, dass die Probanden vermutlich mit den Gedanken abgelenkt waren, wenn die Eyetracking-Daten darauf schließen lassen, dass die in Kapitel 3.1.2 erläuterten Ereignisse angeblickt, nach Versuchsende jedoch nicht berichtet wurden. Die Auswertung von 39 Events (drei Events pro Proband bei 13 Probanden) ergab, dass sechs dieser Events (15 %) angesehen wurden, aber nach der Versuchsfahrt weder frei berichtet werden konnten noch in der vorgelegten Liste wiedererkannt wurden (siehe Abbildung 3-16). Am häufigsten (vier Mal) war hiervon Event 2 nach ca. 32 min Fahrt betroffen. Bei vier der sechs Events, die nicht berichtet, aber angesehen wurden, waren die Probanden aus der jungen Altersgruppe, bei zwei Events aus der alten

Altersgruppe. Bei vier Events hatten die Probanden entweder die Augen zu oder vom Ereignis/der Fahrumgebung abgewendet, sodass eine visuelle Erfassung nicht möglich war (in Abbildung 3-16 „nicht gesehen“).

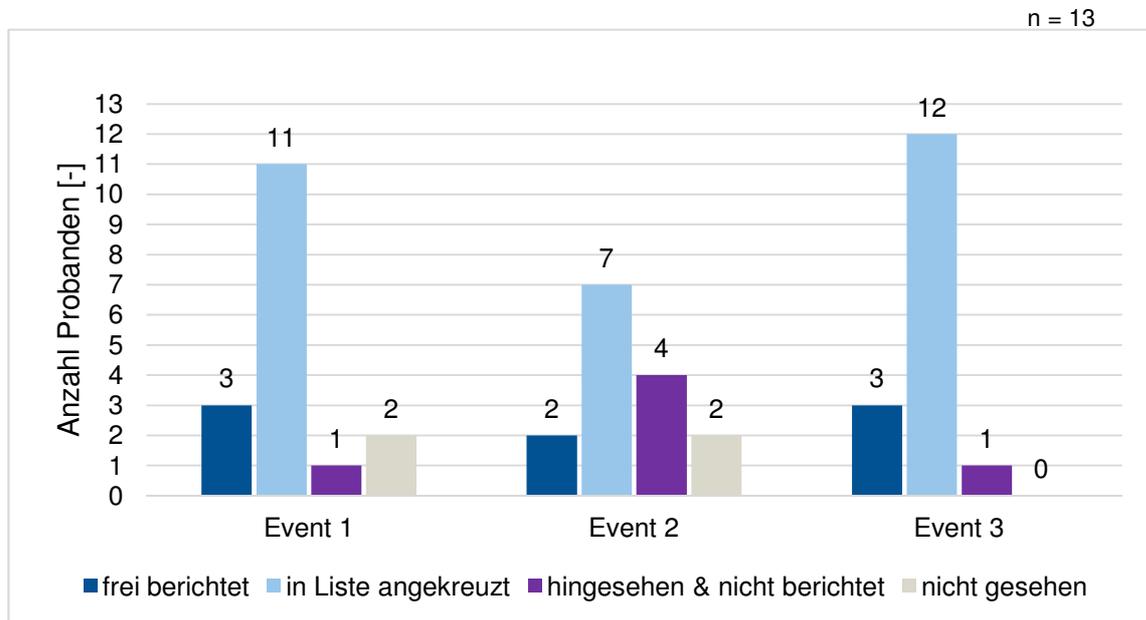


Abbildung 3-16. Anzahl der Events, die von den Probanden frei berichtet und/oder in der vorgegebenen Liste erkannt wurden; außerdem die Anzahl der Events, die nicht angesehen wurden (und demnach auch nicht berichtet werden konnten) und die angesehen, aber nicht berichtet wurden. Die frei berichteten Events stellen eine Teilmenge der in der Liste angekreuzten Events dar.

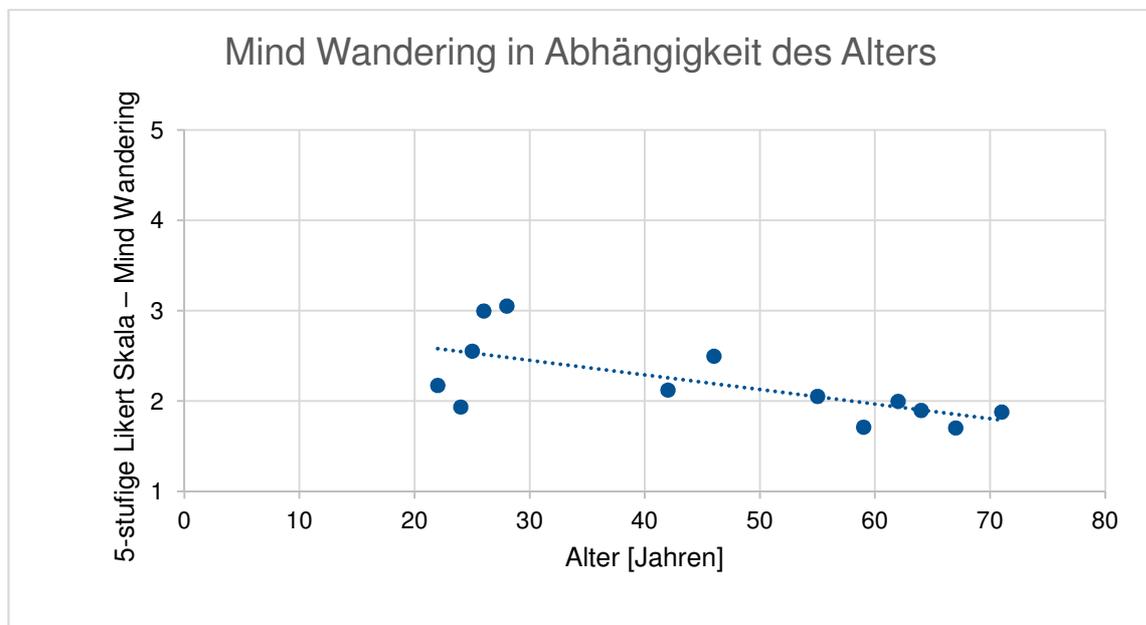


Abbildung 3-17. Das Ergebnis des DSSQ in Abhängigkeit des Alters

Neben dem Verfahren mit den Events sollte *Mind Wandering* außerdem durch den DSSQ (siehe Kapitel 3.1.4) abgefragt werden. Dieser ergab eine Korrelation mit dem Alter der Probanden (siehe Abbildung 3-17): Je älter die Probanden, desto weniger abschweifende Gedanken ( $r = -.696, p = .006$ ).

Außerdem wurde überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen den Probanden besteht, die das *Looked but not seen* Phänomen zeigten, und dem DSSQ. Jedoch konnte aufgrund der kleinen Stichprobe kein statistisch belegter Zusammenhang gefunden werden.

### **3.2.6. Übernahmeparameter und Baseline-Fahrt**

Die Übernahmeparameter *Time-to-Collision* (TTC) und Übernahmezeit (vgl. Kapitel 3.1.2) zeigen eine Korrelation mit dem Systemvertrauen: Je höher das Systemvertrauen, desto

- höher die Übernahmezeit ( $r = .468, p = .091$ ) (vgl. Abbildung 3-18) und desto
- geringer die TTC ( $r = -.649, p = .012$ ) (vgl. Abbildung 3-19)

Offensichtlich nahmen sich Probanden mit höheren Vertrauenswerten im ersten Fragebogen (vor der Versuchsfahrt abgefragt) mehr Zeit, um die Kontrolle des Fahrzeugs zu übernehmen, als Probanden mit geringeren Vertrauenswerten. Hierdurch entstanden bei den Probanden mit größerem Vertrauen auch kleinere TTCs, was auf eine kritischere Übernahmesituation hinweisen kann.

Die Längs- und Querbeschleunigungen zeigten keinen Zusammenhang mit dem Systemvertrauen.

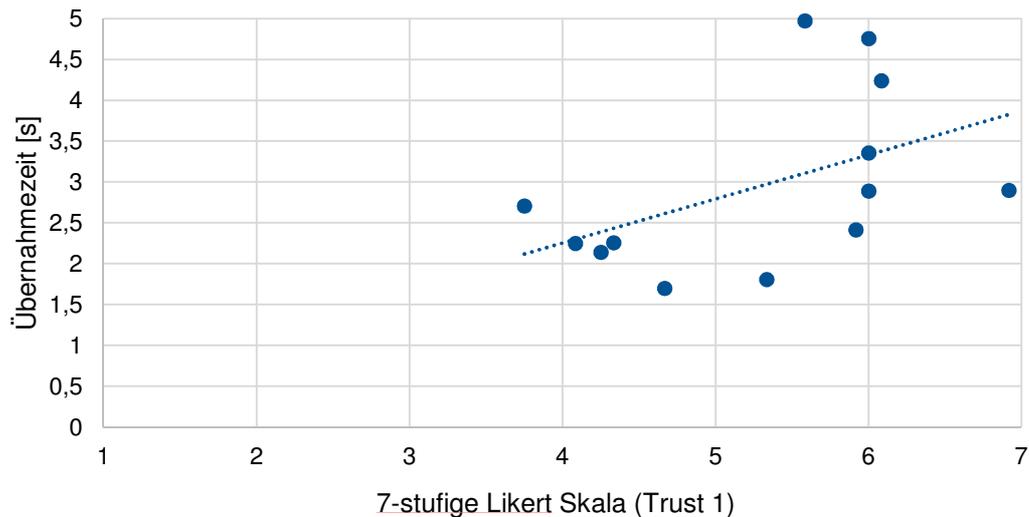


Abbildung 3-18. Übernahmezeit in Abhängigkeit des Systemvertrauens vor der Versuchsfahrt

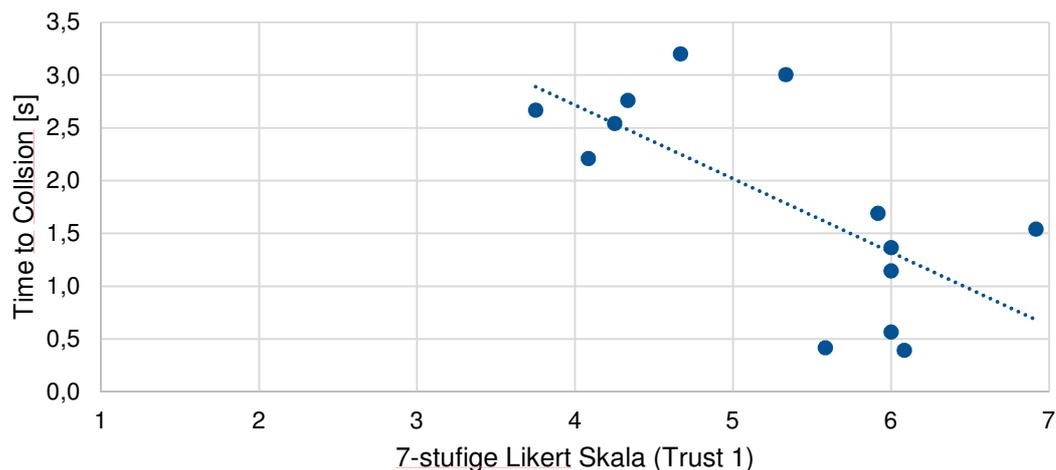


Abbildung 3-19. TTC in Abhängigkeit des Systemvertrauens vor der Versuchsfahrt

Außerdem zeigten die Ergebnisse eine Korrelation des Alters mit denselben Übernahmeparametern: Je älter die Probanden, desto

- höher die Übernahmezeit ( $r = .571$ ,  $p = .033$ ) und desto
- geringer die TTC ( $r = -.613$ ,  $p = .02$ )

Diese Ergebnisse deuten ebenfalls darauf hin, dass mit steigendem Alter nicht mehr so schnell übernommen wurde (vgl. Abbildung 3-20). Damit einhergehende kleinere TTC deuten auf kritischere Übernahmen hin (vgl. Abbildung 3-21). Die Hypothese

einer kritischeren Übernahme darf jedoch nicht nur anhand der Übernahmezeit und der TTC beurteilt werden, sondern muss zusätzlich anhand weiterer Faktoren (z. B. Expertenbeurteilung der Übernahmen) überprüft werden.

Aufgrund des bereits erläuterten Zusammenhangs des Systemvertrauens mit dem Alter erscheint die gefundene Korrelation von Alter und Übernahmeparametern sowie der gleichläufigen Korrelation von Systemvertrauen und Übernahmeparametern plausibel.

Die Beschleunigungen zeigten keine Korrelation mit dem Alter.

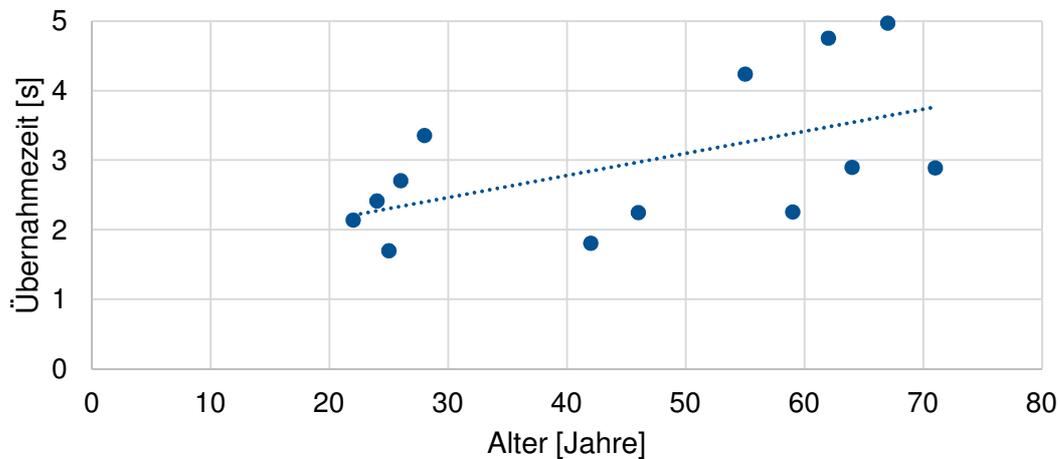


Abbildung 3-20. Übernahmezeit in Abhängigkeit des Alters

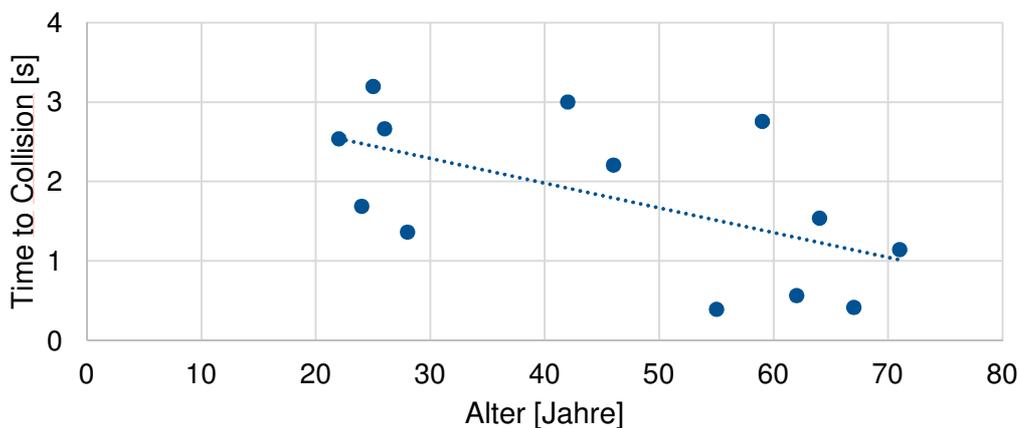


Abbildung 3-21. TTC in Abhängigkeit des Alters

Aufgrund der technischen Probleme mit Dikablis konnte der Vorversuch keine Hinweise darüber liefern, ob die Übernahmeleistung bei hypovigilanten Probanden oder bei Probanden mit abschweifenden Gedanken abnimmt. Außerdem ergaben die aufgezeichneten Parameter der Baseline-Fahrten keine zusätzlichen Erkenntnisse.

### **3.2.7. Sonstige Verhaltensweisen**

Neben den statistisch ausgewerteten Ergebnissen ergab die Auswertung des Videomaterials ebenfalls eine Reihe von Erkenntnissen. Was die Kompensationsstrategien betrifft, zeigten ältere Probanden ein deutlich unauffälligeres Verhalten als die junge Vergleichsgruppe (zwischen 23 und 39 Jahren). Alle Probanden aus der älteren Gruppe (ab 60 Jahren) ließen sich trotz Angaben von hohem Systemvertrauen im Trust-Fragebogen die gesamte Fahrt über durch nichts ablenken und suchten ihrerseits auch keine Ablenkung, sondern hielten ihre Aufmerksamkeit auf die Fahrscene gerichtet. Es wird vermutet, dass ältere Probanden möglicherweise grundsätzlich über hohes Systemvertrauen verfügen, aber sich aufgrund der unbekannteren Fahrsimulationsumgebung und des Erlebens der neuen Technologie doch für Überwachung des Systems entschieden. Probanden aus der jungen Altersgruppe hingegen suchten nach Ablenkungsmöglichkeiten im Fahrzeug (Untersuchung des Innenraumes, Ausprobieren aller vorhandenen Schalter und Knöpfe) oder brachten sich in eine bequeme Sitzposition (Aufstützen des Ellbogens am Fahrzeug, Sitzverstellung).

Drei der Probanden schliefen während des Versuchs ein. Das Einschlafen ereignete sich bei allen drei Probanden zwischen der 20. und 35. Minute. Zwei hielten dabei mehrmals die Augen länger als 5 min geschlossen und beide Probanden waren aus der jungen Altersgruppe. Ein Proband (aus der mittleren Altersgruppe) verfiel in Sekundenschlaf.

### **3.3. Diskussion und Lessons Learned**

Die Ergebnisse des Vorversuchs zeigten, dass das Herstellen eines gleichmäßigen Vertrauensniveaus nicht ausreichend gelungen ist, da Unterschiede bei Alter und Geschlecht festgestellt wurden. Eine mögliche Kürzung des Videos um die „kritischeren“ Passagen für den Hauptversuch wurde zwar in Betracht gezogen,

aufgrund des Anspruchs, HAF möglichst realistisch wiederzugeben, jedoch verworfen. Das Video dient somit mehr als Mittel zur Herstellung eines einheitlichen Informationsstands denn eines bestimmten Vertrauensniveaus.

Der Vorversuch ergab auch, dass es deutliche Altersunterschiede hinsichtlich des Systemvertrauens und teilweise der Übernahmeparameter (TTC und Übernahmezeit) gibt. Aber auch die Kompensationsstrategien und anderen Verhaltensweisen (Schlafen) deuten darauf hin, dass altersabhängige Effekte existieren. Um diese Alterseffekte weiter zu untersuchen, den Einfluss des Alters jedoch noch kontrollieren zu können, soll sich für den Hauptversuch auf eine junge (23–38 Jahre) und eine alte Altersgruppe (60–75 Jahre) beschränkt werden.

Generell muss festgehalten werden, dass es äußerst große Unterschiede in der Verhaltensweise der Probanden gab. Einige zeigten bereits nach ca. 20 bis 40 min Anzeichen von Müdigkeit und Hypovigilanz, einige jedoch wiesen die gesamte Fahrt über keine Veränderungen auf.

Außerdem wurde festgestellt, dass die Versuchsdauer mit 2 h 45 min zu lange ausfällt. Daher soll der Versuch an einigen Stellen gekürzt werden. Der im Vorversuch verwendete Trust-Fragebogen ist sehr ausführlich und die Beantwortung nimmt dementsprechend viel Zeit in Anspruch (20 bis 30 min). Die Dauer des Fragebogens ergibt sich aus einer Abfrage von zahlreichen anderen Informationen zur Wahrnehmung von technischen Systemen, wie z. B. die Nutzungsabsicht und der wahrgenommene Sicherheitsgewinn durch das System. Diese Informationen sind für die in dem Projekt bearbeiteten Fragestellungen nicht von Bedeutung. Daher wird für den Hauptversuch ein anderer geeigneter Fragebogen verwendet.

Zudem soll der Hauptversuch um die manuellen Fahrten für Baseline in der Eingewöhnungsfahrt und für Vergleichsfahrt nach der Übernahme gekürzt werden, da hieraus keine zusätzlichen Informationen gewonnen werden konnten.

Aufgrund vieler Müdigkeitsanzeichen (Schlafen, Sekundenschlaf, Veränderung im Blickverhalten, Beginn der Suche nach Ablenkung als Kompensationsstrategie) bereits nach 30 bis 40 min, ist es denkbar, die Versuchsdauer auf diese Länge zu kürzen. Wegen der beschriebenen Probleme kann hierüber jedoch keine verlässliche Aussage gemacht werden, weswegen die Dauer der Versuchsfahrt bei 60 min verbleibt.

Als letzter Punkt kann festgehalten werden, dass sich das Eyetracking System Dikablis nicht für diesen Versuch eignet. Das Kopf-Brillengestell, an dem die Augenkameras und die Umgebungskamera befestigt sind, ist zu schwer, um es mehr als 60 min zu tragen. Die Probanden klagten während des Versuchs und nach dessen Ende über Kopfschmerzen und schmerzende Druckstellen, wogegen auch eine Polsterung keine Abhilfe schaffen konnte. Aufgrund des unbequemen und teils schmerzhaften Tragens der Brille oder durch das Ausführen verschiedener Körper- und Kopfhaltungen waren die Probanden dazu geneigt, die Position der Brille auf ihrem Kopf während der Fahrt zu verändern, was die Kalibrierung des Systems auf den Probanden hinfällig machte. Dies führte dazu, dass die Daten dieser Probanden entweder nicht mehr verwendbar waren oder mit äußerst großem Aufwand nachbearbeitet werden mussten. Aus diesen Gründen wird im Hauptversuch das Remote-System SmartEye Pro 6.1 der Firma SmartEye AB aus Schweden eingesetzt. Ein weiterer Vorteil dieses Systems ist das lidbasierte Eyetracking, mit dem Metriken betrachtet werden können, die für die Erfassung von Müdigkeit und Hypovigilanz besser geeignet sind, als die der Firma Ergoneers.

#### **4. Hauptversuch**

Mithilfe des Hauptversuchs sollten zwei Aspekte untersucht werden. Zum einen sollte die Relevanz von Hypovigilanz und Müdigkeit im Kontext des hochautomatisierten Fahrens überprüft werden. Hier war insbesondere die Auswirkung des hypovigilanten sowie müden Zustands auf die Übernahmeleistung von Interesse, aber auch die Veränderung des Fahrerzustands über die Dauer der Versuchsfahrt hinweg. Zum anderen wurde während der Literaturanalyse festgestellt, dass bisherige Versuche, welche im Zusammenhang mit hochautomatisierten Fahren durchgeführt wurden, äußerst artifiziell im Hinblick auf die fahrfremden Tätigkeiten gestaltet wurden. Aus diesem Grund ist ein weiteres Ziel dieses Projekts eine Methodik zur gezielten Herstellung „natürlicher“ Nutzungsbedingungen beim hochautomatisierten Fahren zu entwickeln. Dadurch soll geklärt werden, welche Auswirkungen natürliches Verhalten auf den Fahrerzustand und die Übernahme hat, und welchen Tätigkeiten die Probanden nachgehen.

## 4.1. Versuchsdesign

Der Hauptversuch fand, wie bereits der Vorversuch, im statischen Fahrsimulator des Lehrstuhls für Ergonomie statt (vgl. Kapitel 3.1).

Der Hauptversuch war untergliedert in drei Teile (siehe Abbildung 4-1): die Versuchseinführung (25 min), die eigentliche Versuchsfahrt (60 min) und das Debriefing (20 min). In Summe ergab sich somit eine Gesamtversuchszeit von 1 h 45 min.

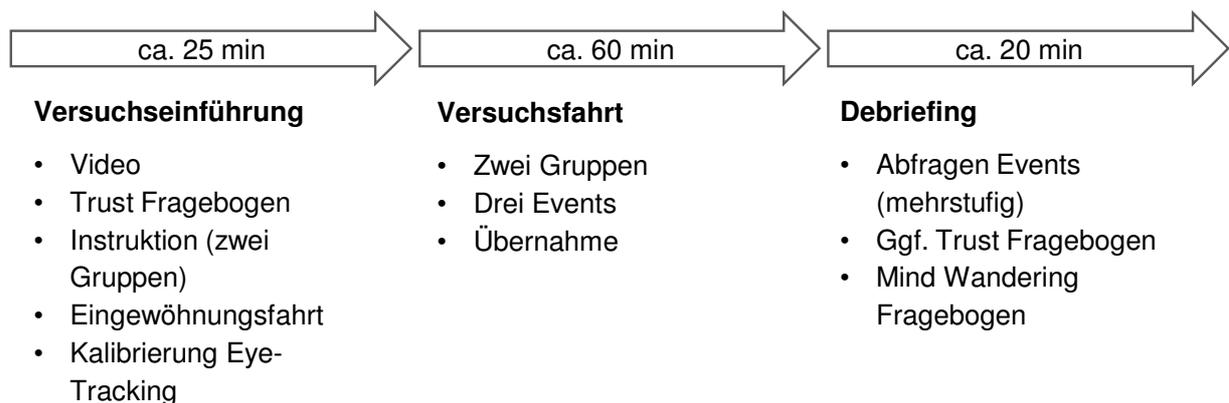


Abbildung 4-1: Zeitlicher Ablauf des Hauptversuchs

### 4.1.1. Versuchseinführung

Der Hauptversuch begann mit dem bereits beim Vorversuch gezeigten Informationsvideo. Ein demografischer Fragebogen, welcher auch Aspekte der Fahrzeugnutzung und der Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen erfragte, wurde von den Probanden zuvor zuhause ausgefüllt, um die Versuchsdauer zu verkürzen. Im Anschluss füllten die Probanden einen standardisierten Fragebogen zum Vertrauen in Automation aus. Aufgrund der Erfahrungen des Vorversuchs wurde beim Hauptversuch der deutlich kürzere Fragebogen von Körber (2015) genutzt (siehe Anhang A.2)

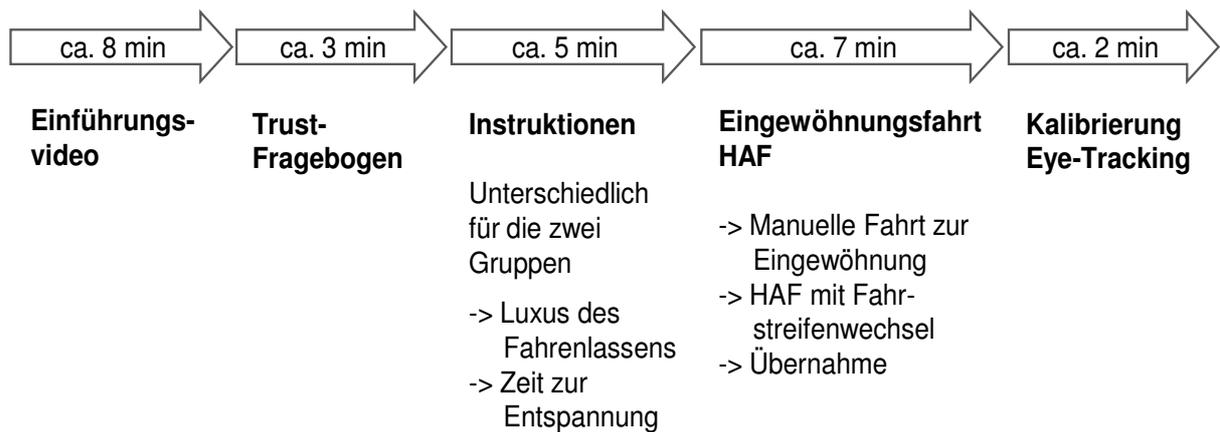


Abbildung 4-2: Ablauf der Versuchseinführung

Anschließend erhielten die Probanden eine ausführliche Instruktion bzgl. der Leistungsfähigkeit der Automation. Diese machte deutlich, dass das automatisierte System nicht überwacht werden muss, aber im Falle einer Übernahmeaufforderung die Probanden als Rückfallebene zur Verfügung stehen müssen. Im Unterschied zum Vorversuch gab es beim Hauptversuch zwei verschiedene Probandengruppen, die hinsichtlich der erlaubten Beschäftigung während der Versuchsfahrt unterschiedlich instruiert wurden (siehe folgendes Kapitel). Insgesamt wurde bei der Instruktion besonderen Wert daraufgelegt, dass die Probanden sich während der Fahrt entspannen und den Luxus des Gefahrenwerdens genießen können. Während der anschließenden, etwa zehnminütigen Eingewöhnungsfahrt, in der sie u.a. einen Parcours mit engen Kurvenradien bewältigen mussten, konnten sich die Probanden mit der Fahrdynamik des Fahrsimulators vertraut machen. Darüber hinaus testeten die Versuchspersonen während der Eingewöhnungsfahrt die Fahrzeugautomation und erlebten eine Übernahmeaufforderung. Nachdem die Probanden das Fahrzeug zum Stillstand gebracht hatten und die Simulation gestoppt wurde, nahm der Versuchsleiter die Kalibrierung des Eyetracking-Systems SmartEye vor.

Der gesamte Ablauf der Versuchseinführung kann Abbildung 4-2 entnommen werden.

#### 4.1.2. Fahrfremde Tätigkeiten während der hochautomatisierten Fahrt

Die Probanden wurden in zwei gleichgroße Gruppen eingeteilt. Die Versuchsbedingung 1 entsprach der des Vorversuchs. Die Probanden wurden

instruiert, dass sie keinerlei Beschäftigungen mit ins Fahrzeug nehmen dürfen. Darüber hinaus wurden alle Beschäftigungsmöglichkeiten aus dem Fahrzeug entfernt. Diese Gruppe wird im Folgenden als Hypovigilanzgruppe bezeichnet. Probanden der zweiten Versuchsgruppe wurden bereits bei der Einladung zum Versuch darauf hingewiesen, dass es längere Wartezeiten in einer ruhigen Umgebung geben wird und sie aus diesem Grund persönliche Gegenstände (z. B. Arbeit, Laptop, Tablet, etc.) mitbringen können. Darüber hinaus wurden im Fahrzeug verschiedene Beschäftigungsmöglichkeiten (fahrfremde Tätigkeiten, Abk. FFT) zur Verfügung gestellt. Dazu zählte ein in der Mittelkonsole angebrachtes Tablet, auf dem Podcasts und Hörbücher, Internetradio, diverse Videos sowie verschiedene Spiele (Angry Birds, Brain It On!, CandyCrush) angeboten wurden. Außerdem lagen aktuelle Zeitschriften mit unterschiedlichen Thematiken im Fahrzeug bereit. Für die Nutzung des Internets mit den selbst mitgebrachten mobilen Endgeräten stand ein W-Lan-Hotspot zur Verfügung. Diese Gruppe wird im Folgenden als FFT-Gruppe bezeichnet.

#### **4.1.3. Versuchsfahrt**

Die gesamte Versuchsfahrt dauerte inkl. Beschleunigungsphase und abschließender Übernahme ca. 62 min. Während dieser fuhren die Probanden beider Gruppen 60 min hochautomatisiert (siehe Abbildung 4-3). Um eine möglichst monotone Fahrt zu gewährleisten, fand die automatisierte Fahrt auf einer Autobahn mit drei Fahrstreifen statt. Es gab wenige Veränderungen im Verkehrsfluss und nur selten Überholmanöver. Während dieser 60 min kam es zu drei unkritischen Ereignissen: einem dreimaligen Blinken ohne nachfolgenden Fahrstreifenwechsel (nach 17 min), einem Verkehrsschild, welches auf einer Autobahn nicht plausibel ist (nach 32 min) und zwei Hochsitzen, die sich sehr nah am Fahrbahnrand befanden (nach 47 min) (siehe Abbildung 4-3). Nach der Versuchsfahrt wurden die Probanden befragt, ob sie die Ereignisse bemerkt haben. Wie im Vorversuch sollen die Antworten gemeinsam mit den Blickdaten Aufschluss über die Aufmerksamkeit/Vigilanz der Probanden während der Fahrt geben. Phänomene wie *looked but not seen*, was ein starker Indikator für *Mind Wandering* darstellt, könnten durch diese Methode identifiziert werden. Aufgrund von software-bedingten Einschränkungen des eingesetzten Remote-Eye-Tracking Systems war allerdings eine Auswertung dieser Ereignisse zusammen mit den Blickdaten nicht möglich.

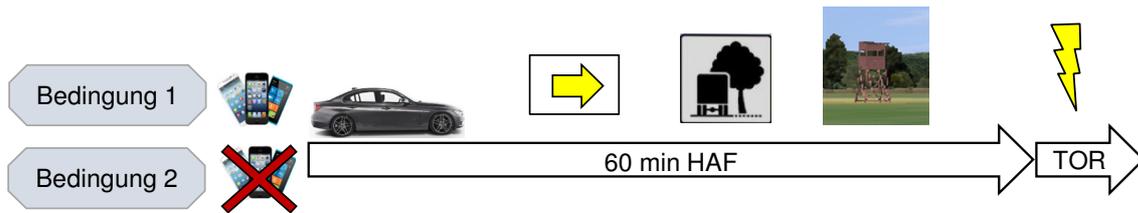


Abbildung 4-3: Ablauf der Versuchsfahrt

Nach 60 min hochautomatisierten Fahrens erlebten die Probanden eine akustische Übernahmeaufforderung, die zusätzlich mit einem entsprechenden Symbol im Kombidisplay unterstützt wurde (siehe Abbildung 4-4).



Abbildung 4-4: Anzeige der Übernahmeaufforderung im Kombidisplay

Die Gestaltung der Übernahmesituation war wie im Vorversuch. Sie fand auf dem rechten Fahrstreifen statt und wurde durch ein plötzlich auftauchendes, stehendes Fahrzeug vor dem Ego-Fahrzeug initiiert (siehe Abbildung 4-5). Da die Übernahme nicht zu kritisch ausfallen sollte, wurde ein Zeitbudget von 6 s gewählt, was einer Distanz zwischen Ego-Fahrzeug und auftauchendem Fahrzeug von 200 m entspricht. Der mittlere und linke Fahrstreifen, welche für Ausweichmanöver zur Verfügung standen, wurde mit keinem zusätzlichen Verkehr versehen.

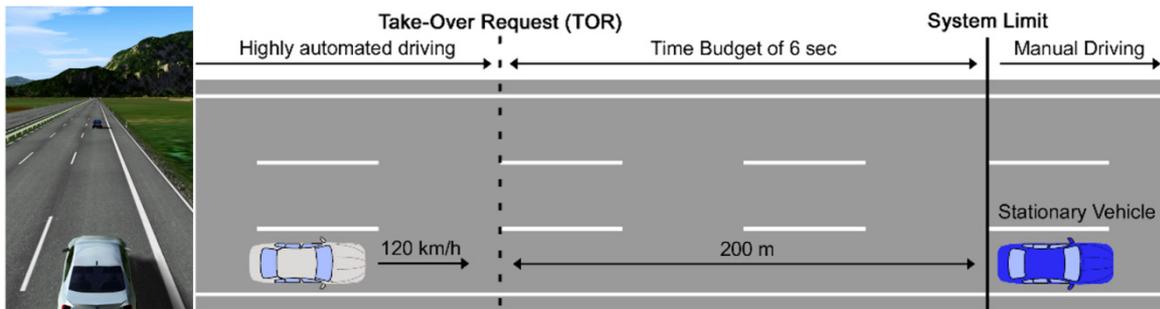


Abbildung 4-5. Die Übernahmesituation (rechts: nach Damböck et al. (2012))

#### 4.1.4. Abhängige Variablen und Messtechnik

Um das Auftreten von *Mind Wandering* und Hypovigilanz zu erfassen, wurden während der gesamten Fahrt Blickdaten und Kopfposition mit dem Eyetracking-System SmartEye Pro 6.1 erfasst (siehe Abbildung 4-6 und Abbildung 4-7).

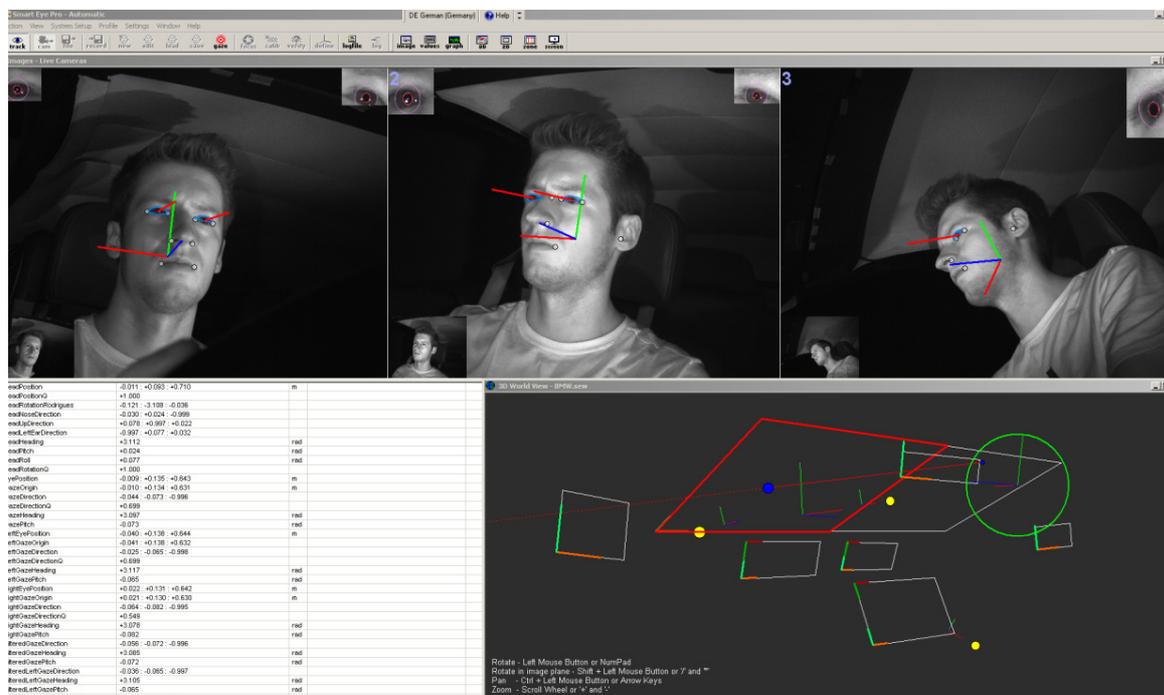


Abbildung 4-6: Darstellung der SmartEye Bedienoberfläche. Die drei Kameraperspektiven (oben), die aufgezeichnete Echtzeit-Daten (unten links) und das World Model inkl. Sichtstrahl, Kopfmodell und Areas of Interest (unten rechts)



Abbildung 4-7: Positionen der drei Infrarotkameras im Fahrzeug (links) und Detailansicht einer Kamera (rechts)

Bei diesem handelt es sich um ein Remote-System (siehe Kamerapositionen in Abbildung 4-7), welches im Gegensatz zu einem Head-Mounted-System die Probanden nicht in ihrem natürlichen Verhalten einschränkt. Dadurch werden Probleme aus dem Vorversuch, etwa Kopfschmerzen durch das lange Tragen der Eyetracking-Brille und fehlende Kalibrierung, vermieden.

Mit dem Eyetracking-System wurden PERCLOS, Blinzelhäufigkeiten und Blinzeldauer (abhängige Variablen) für die Beurteilung von Müdigkeit und Hypovigilanz erhoben. Außerdem wurde die Ablenkung der Probanden durch Häufigkeit und Dauer der Blickabwendungen von der Fahrszene erfasst. Als Area of Interest (AOI) wurde hierfür die Fläche der Windschutzscheibe gewählt, da diese umfassend die Verkehrsszene abbildet. Um eine noch differenziertere Aussage treffen zu können, wohin genau die Probanden in der Fahrszene geblickt haben, wurde die Blickverteilung innerhalb der AOI ausgewertet. Hierfür wurde die Windschutzscheibe in sechs Teile unterteilt (siehe Abbildung 4-8). Um beurteilen zu können, ob sich die Blickverteilung über die Zeit ändert, wurden die Blickhäufigkeiten in Abhängigkeit dieser Parzellen ausgewertet.

Für die Auswertung aller Blickdaten wurde ein Minimum von 120 ms als Kriterium für einen Blick zugrunde gelegt. Dies entspricht ca. 14 Frames bei einer Aufzeichnungsfrequenz von 120 Hz.



Abbildung 4-8: Unterteilung der Windschutzscheibe in sechs Teile für eine differenziertere Auswertung der Blickhäufigkeiten zum umgebenden Verkehr

Neben Blickdaten wurde außerdem noch die Herzfrequenz mit dem Garmin Forerunner 920XT mit zugehörigem Herzfrequenzsensor Garmin HRM Tri über die gesamte Versuchsfahrt aufgezeichnet.

Zusätzlich zu den bereits genannten Systemen kam eine GoPro HERO4 Silver Edition zum Einsatz, die die Probanden die gesamte Fahrt hinweg filmte. Die Aufzeichnung erfolgt im Nachtmodus in 1080p mit 30 Bildern pro Sekunde. Dies war insbesondere wichtig für die Auswertung der Art und Dauer der Tätigkeiten der FFT-Gruppe, aber auch um Unregelmäßigkeiten in den Daten bei der Auswertung nachvollziehen zu können.

Um beurteilen zu können, ob die unterschiedlichen Beschäftigungsbedingungen (Hypovigilanzgruppe, FFT-Gruppe) eine Auswirkung auf die Übernahmeleistung haben, wurden verschiedene Übernahmeparameter erhoben. Hierzu zählten die Übernahmezeit (TOT), die *Time-to-Collision* (TTC) sowie die beim ersten Manöver nach dem TOR maximal auftretenden Längs- und Querbewegungsbeschleunigung. Als Übernahmezeit wird die Zeit angesehen, die der Fahrer nach der Übernahmeaufforderung benötigt, um das erste Mal bewusst in die Fahrzeugführung einzugreifen.

#### 4.1.5. Versuchsende und Debriefing

Nach der Versuchsfahrt wurden mehrstufig die in der Versuchsfahrt vorgekommenen Ereignisse abgefragt (siehe Abbildung 4-3). Zunächst wurde mithilfe einer offenen Fragestellung abgefragt, ob während der Fahrt Besonderheiten oder bestimmte

Vorkommnisse aufgefallen sind. Falls dies der Fall war, wurden richtige und falsche Vorkommnisse zur Auswahl gegeben. Abschließend sollten die Probanden ein weiteres Mal den Trust Fragebogen und einen *Mind Wandering* Fragebogen, den DSSQ, ausfüllen.

#### **4.1.6. Altersgruppen**

Die Ergebnisse des Vorversuchs lassen vermuten, dass hinsichtlich des Systemvertrauens und des Übernahmeverhaltens Alterseffekte existieren (siehe Kapitel 3.2). Da jedoch die Stichprobe relativ klein war, sollte dieser Sachverhalt im Hauptversuch weiter untersucht werden. Die deutlichsten Unterschiede werden zwischen der jungen (23–39 Jahre) und der ältesten Altersgruppe (60–75 Jahre) vermutet. Daher wurde entschieden, dass im Hauptversuch diese beiden Altersgruppen untersucht werden sollen. Wie schon beim Vorversuch wurde bei der Auswahl der Probanden aus der jungen Altersgruppe darauf geachtet, dass die Probanden eine Fahrerfahrung von mindestens fünf Jahren mitbrachten.

#### **4.2. Ergebnisse**

Um eine Veränderung des Fahrerzustands über die Versuchsfahrt zu erkennen, wurden die in Kapitel 4.1.4 erläuterten Blickdaten und die Herzfrequenzdaten alle 10 Minuten während der hochautomatisierten Fahrt für jeweils 60 Sekunden (Minute 5–6, 15–16, 25–26, 35–36, 45–46 und 55–56) sowie die Minute vor der Übernahme (Minute 60–61) aufgezeichnet. Tabelle 4-1 gibt eine Übersicht über die ausgewerteten Messgrößen, wie sie definiert sind und welches Konstrukt damit operationalisiert wurde. Die detaillierte Darstellung der jeweiligen Ergebnisse erfolgt in den folgenden Kapiteln.

Die Aufbereitung der Eyetracking-Daten, sowie der Übernahmeparameter erfolgte in Matlab R2016a, Herzfrequenzdaten wurden mit Excel aufbereitet. Die statistische Auswertung erfolgte in SPSS Statistics in der Version 21. Um die Auswirkung von freier Beschäftigung auf den Fahrerzustand zu messen, wurde eine Varianzanalyse (ANOVA - *analysis of variance*) mit Messwiederholung gerechnet. Die sieben Messzeitpunkte stellten den messwiederholten Innersubjektfaktor dar, die Gruppenzugehörigkeit den Zwischensubjektfaktor. Sollte die

Normalverteilungsannahme verletzt worden sein, so wurden die Daten transformiert. Die Homogenität der Varianzen und Kovarianzen der Messwiederholung wurde mittels des Mauchly-Tests auf Sphärizität überprüft. Wies dieser ein signifikantes Ergebnis und somit eine Verletzung der Sphärizitätsannahme auf, so wurde eine Korrektur nach Greenhouse-Geisser durchgeführt und die Freiheitsgrade angepasst. Weiter wurde als Effektstärkemaß das in SPSS berechnete partielle  $\eta^2$  ( $\eta^2$ ) verwendet. Bei einer Effektstärke von  $\eta^2 > .01$  liegt ein kleiner, bei einem  $\eta^2 > .06$  ein mittlerer und bei einem  $\eta^2 > .14$  ein großer Effekt vor (Cohen, 1988). Als Post-Hoc-Test für Mehrfachvergleiche wurde der Bonferroni-Test gewählt.

Bei den durchgeführten bivariaten Korrelationsanalysen wurde zwischen skalaren Werten (Pearson-Korrelation) und ordinalen Werten (Spearman-Rho-Korrelation) unterschieden. Durchgeführte t-Tests waren zweiseitige t-Tests für unabhängige Stichproben, welche Varianzhomogenität voraussetzen. Diese Homogenität wurde mittels des Levene-Tests überprüft. Liegt ein nicht signifikantes Ergebnis vor, so kann von Varianzgleichheit ausgegangen werden. Bei einem signifikanten Ergebnis wurde der  $F_{\max}$ -Test durchgeführt. Für binäre Werte wurde statt des t-Tests auf den Chi-Quadrat-Test mit Kontinuitätskorrektur zurückgegriffen.

Wenn nicht anders gekennzeichnet, wurde das Signifikanzniveau auf 5 % ( $p = .05$ ) festgelegt und die Hypothesen zweiseitig getestet. Sämtliche Fehlerbalken in der folgenden Ergebnisbeschreibung stellen, wenn nicht anders angegeben, +/- eine Standardabweichung dar.

Teile der statistischen Ergebnisse werden mittels Boxplot visualisiert. Hier gilt, dass die Grenzen der Box den Bereich angeben, innerhalb derer sich 50 % der Verteilung befinden. Die Linie innerhalb der Box stellt den Median und das Kreuz den Mittelwert der Daten dar. Die dünnen Linien geben die Verteilung vom minimalen zum maximalen Wert an. Ausreißer und Extremwerte werden in den nachfolgenden Boxplots mittels Kreisen gekennzeichnet (Bühner & Ziegler, 2009)

Aus unterschiedlichen Gründen – meist technischen Hintergrunds – mussten für die einzelnen Analysen Probanden ausgeschlossen werden. Dies wird zu Beginn eines jeden Kapitels erläutert.

Tabelle 4-1: Übersicht über die ausgewerteten Messgrößen mit Definition und Zuordnung zum operationalisierten Konstrukt.

Messgröße	Definition	Konstrukt
Herzfrequenz	Anzahl an Herzschlägen innerhalb einer Minute	Müdigkeit
PERCLOS	Zeitlicher Anteil einer Minute, in dem die Augen mehr als 80% geschlossen waren	Müdigkeit
Blinzelhäufigkeit	Anzahl an Lidschlüssen innerhalb einer Minute	Müdigkeit
Häufigkeit überlanger Lidschlussvorgänge	Anzahl an Lidschlussvorgängen größer 0,5 Sekunden innerhalb einer Minute	Müdigkeit
Horizontale Blickverteilung	Anzahl an Frames innerhalb einer Minute pro Fahrscenenbereich	Aufmerksamkeit für die Fahrscene
Blickdauer zur Fahrscene	Zeitlicher Anteil einer Minute, in der zur Fahrscene geblickt wurde	Aufmerksamkeit für die Fahrscene

#### 4.2.1. Probandenkollektiv

Die Stichprobe des Fahrimulatorversuchs umfasste insgesamt 42 Personen. Davon waren 15 Personen weiblich (36 %) und 27 Personen männlich (64 %). Die Hypovigilanzgruppe bestand aus 20 Teilnehmern und die FFT-Gruppe aus 22. Aus den beiden Altersgruppen nahmen gleich viele Probanden teil ( $n = 21$ ). Probanden der jungen Altersgruppe sind durchschnittlich 26.00 Jahre alt ( $SD = 3.10$  Jahre), das Durchschnittsalter in der zweiten Altersgruppe beträgt 65.91 Jahre ( $SD = 3.50$  Jahre), wie in Abbildung 4-9 dargestellt. Alle Teilnehmer haben zum Zeitpunkt des Versuchs einen gültigen PKW-Führerschein.

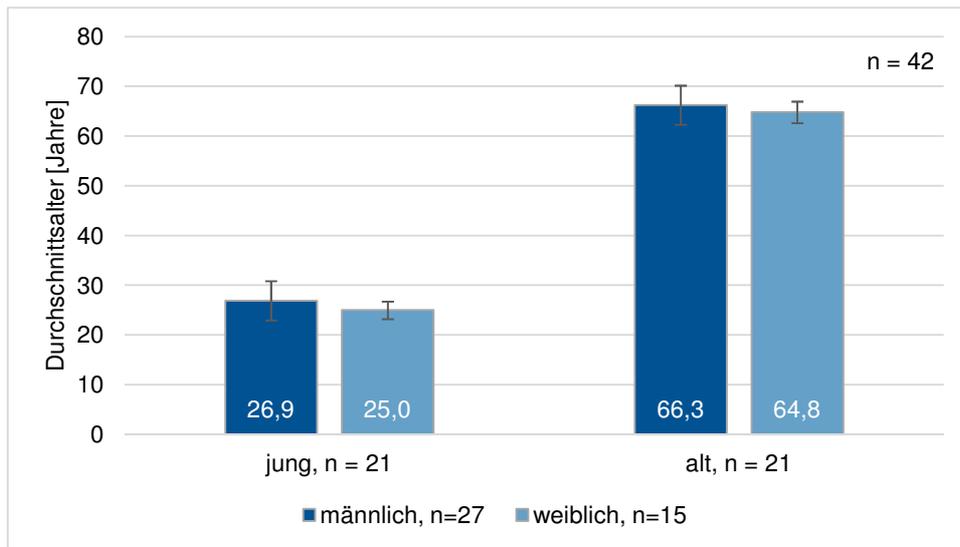


Abbildung 4-9: Durchschnittliches Alter des Probandkollektivs nach Altersgruppe

Die jungen Probanden hatten eine durchschnittliche Fahrerfahrung von 8.43 Jahren ( $SD = 4.03$ ), die älteren Probanden von durchschnittlich 47.00 Jahren ( $SD = 5.18$ ).

#### 4.2.2. Herzfrequenz

Für die Auswertung der Herzfrequenz standen aufgrund technischer Probleme 23 Datensätze zur Verfügung, wovon 18 Datensätze (78 %) von männlichen Probanden stammten; zehn der 23 Probanden (44 %) waren aus der jungen Altersgruppe. Die Herzfrequenz der untersuchten Probanden ist in Abbildung 4-10 dargestellt. Es fällt auf, dass die durchschnittliche Herzfrequenz der Hypovigilanzgruppe über den gesamten Verlauf der Fahrt über der der FFT-Gruppe liegt, was nicht den Erwartungen entspricht, da die Beschäftigung mit einer selbstgewählten Aufgabe aktivierend wirkt und somit zu einer höheren Herzfrequenz führen sollte. Dieses Ergebnis kann durch Unterschiede in den Faktoren Geschlecht, Alter und Fitnesszustand erklärt werden, welche einen starken Einfluss auf die Herzfrequenz der Probanden haben.

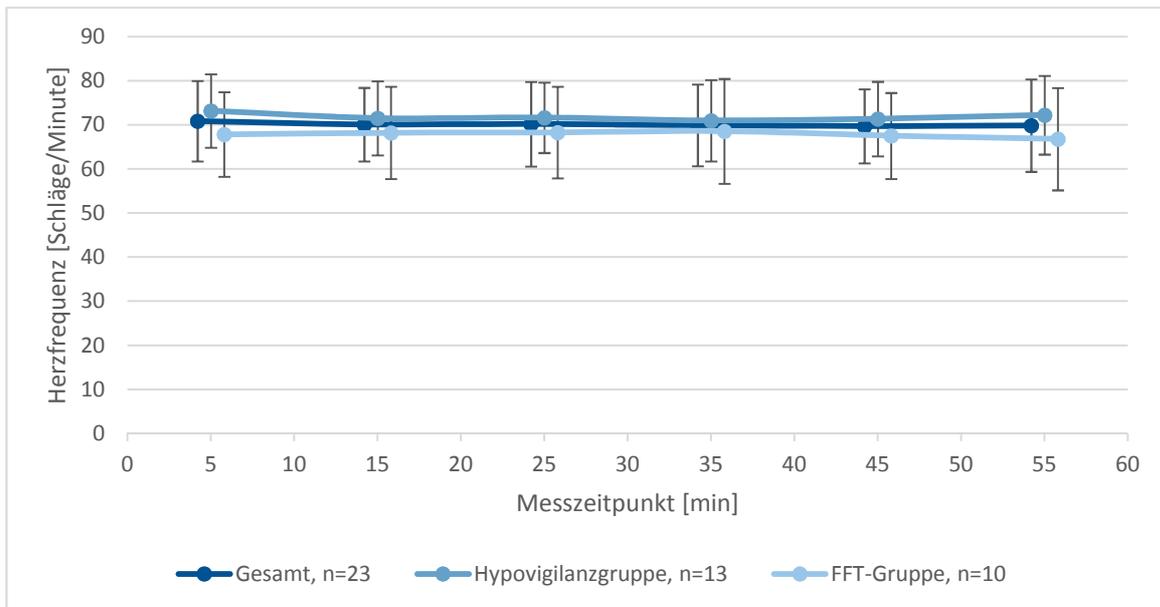


Abbildung 4-10: Die Entwicklung der Herzfrequenz über die Versuchsfahrt

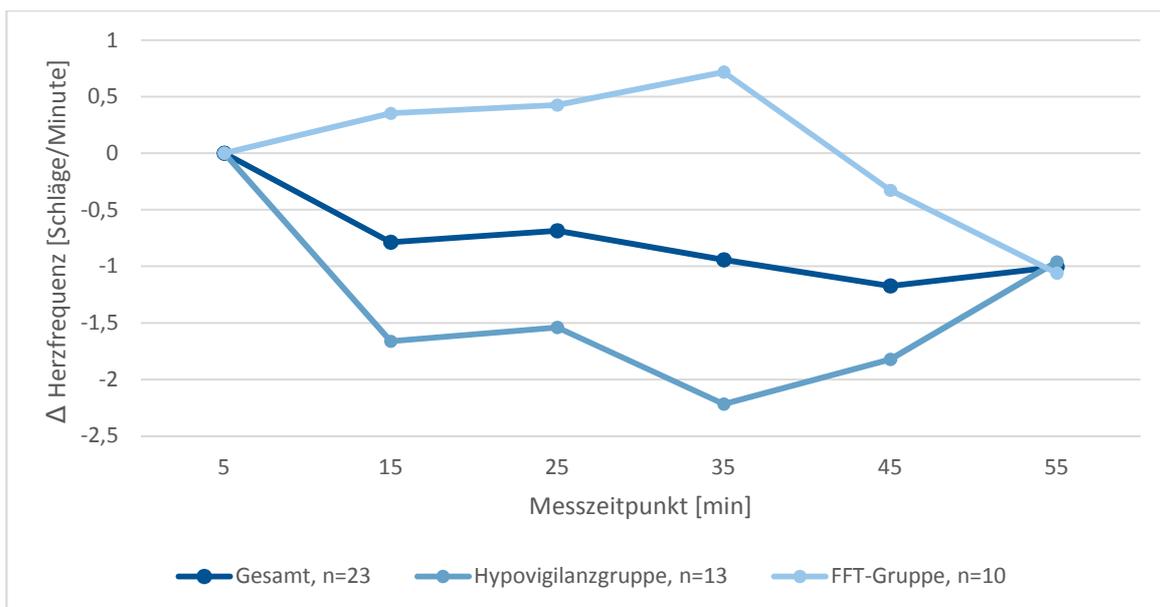


Abbildung 4-11: Relative Änderung der Herzfrequenz über die Versuchsfahrt

Zur besseren Verständlichkeit stellt Abbildung 4-11 die durchschnittliche relative Änderung der Herzfrequenz dar. Diese zeigt bei der Hypovigilanzgruppe eine Abnahme im Laufe der Versuchsfahrt bis Minute 35, anschließend steigt die Herzfrequenz wieder an, um bei Minute 55 auf einem leicht niedrigeren Level als bei Beginn der Fahrt zu sein. Bei Probanden der FFT-Gruppe ist ein leichter Anstieg zu

verzeichnen, der ebenfalls bei Minute 35 wieder zurückgeht, um bei Minute 55 auf einen Wert nahe dem Anfangsniveau fällt. Die Unterschiede in den Herzfrequenzen fallen insgesamt jedoch, wie bereits beim Vorversuch, lediglich sehr gering aus. Die statistische Überprüfung ergibt keine signifikanten Ergebnisse; weder für den Messzeitpunkt, noch für die Gruppenzugehörigkeit.

### **4.2.3. Blickdaten**

Für die Auswertung der Blickdaten mit SmartEye mussten sechs Probanden aufgrund von Ausfällen des Eyetracking-Systems ausgeschlossen werden. Somit umfasst die Stichprobe 36 Probanden. Davon sind 24 Personen männlich, zwölf weiblich; 16 gehören zur Hypovigilanz- und 20 zur FFT-Gruppe. Im Folgenden wird zunächst der Blickzuwendungsanteil zur Fahrscene beschrieben, gefolgt von der horizontalen Blickverteilung, der Blinzelhäufigkeit, der Metrik PERCLOS, sowie der Häufigkeit überlanger Lidschlussvorgänge.

#### **Zeitliche Entwicklung des Blickzuwendungsanteils zur Fahrscene**

Anhand des Blickvektors der Probanden wurde ausgewertet, wie groß der Blickzuwendungsanteil zur Fahrscene war. Es wurden nur Blicke länger als 120 ms gezählt, da dies das in ISO 15007-1 genannte Minimum für einen Blick ist. Blicke, die kürzer waren, sind demnach physikalisch nicht möglich und wurden als von SmartEye erzeugte Artefakte von der Analyse ausgeschlossen.

Abbildung 4-12 zeigt die zeitliche Entwicklung des Blickzuwendungsanteils zur Fahrscene der gesamten Stichprobe sowie unterschieden nach Gruppenzugehörigkeit. Da in diesem Fall die Normalverteilungsannahme verletzt wurde, wurde eine Datentransformation vor der statistischen Auswertung durchgeführt. Hinsichtlich der Gruppen wurde ein signifikanter Unterschied festgestellt ( $F(1,34) = 40.25$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .542$ ). Demnach widmeten die Probanden der FFT-Gruppe im Durchschnitt der Fahrscene weniger Aufmerksamkeit, als die der Hypovigilanzgruppe. Zudem bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten ( $F(6,204) = 4.63$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .120$ ). Der Post-Hoc-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Minuten 5 und 25 ( $p = .023$ ), 5 und 35 ( $p = .13$ ), sowie 5 und 60 ( $p = .020$ ).

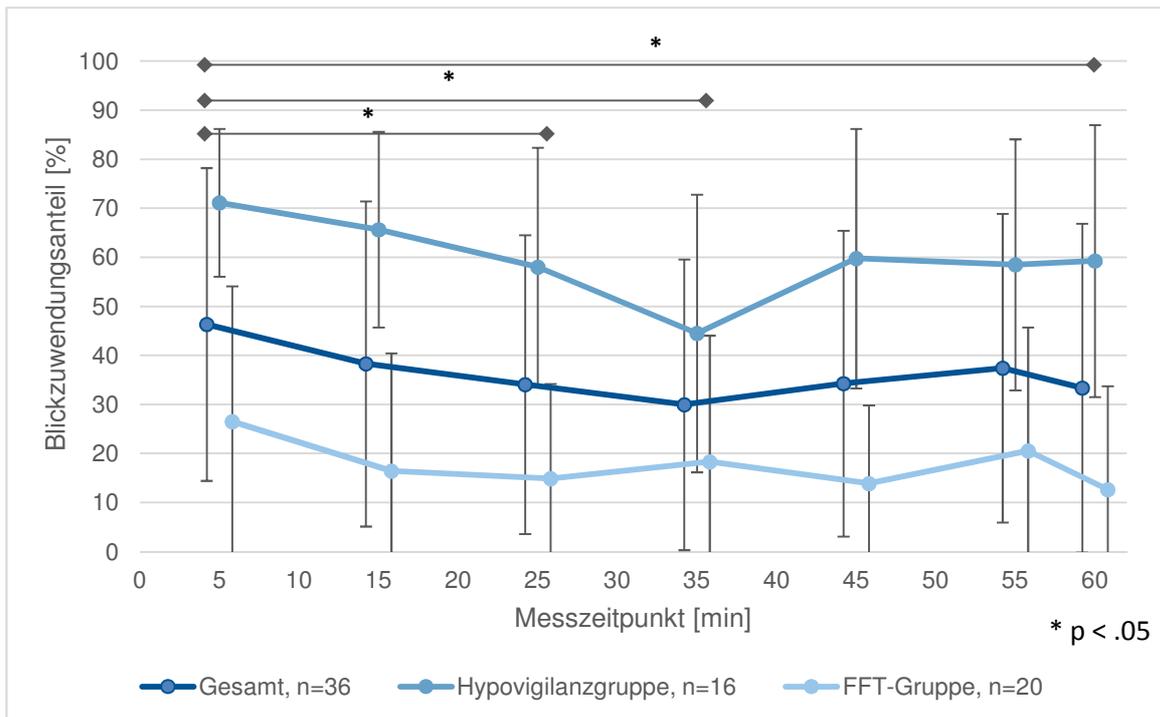


Abbildung 4-12: Zeitliche Entwicklung der durchschnittlichen Blickdauer zur Fahrscene über die Versuchsfahrt

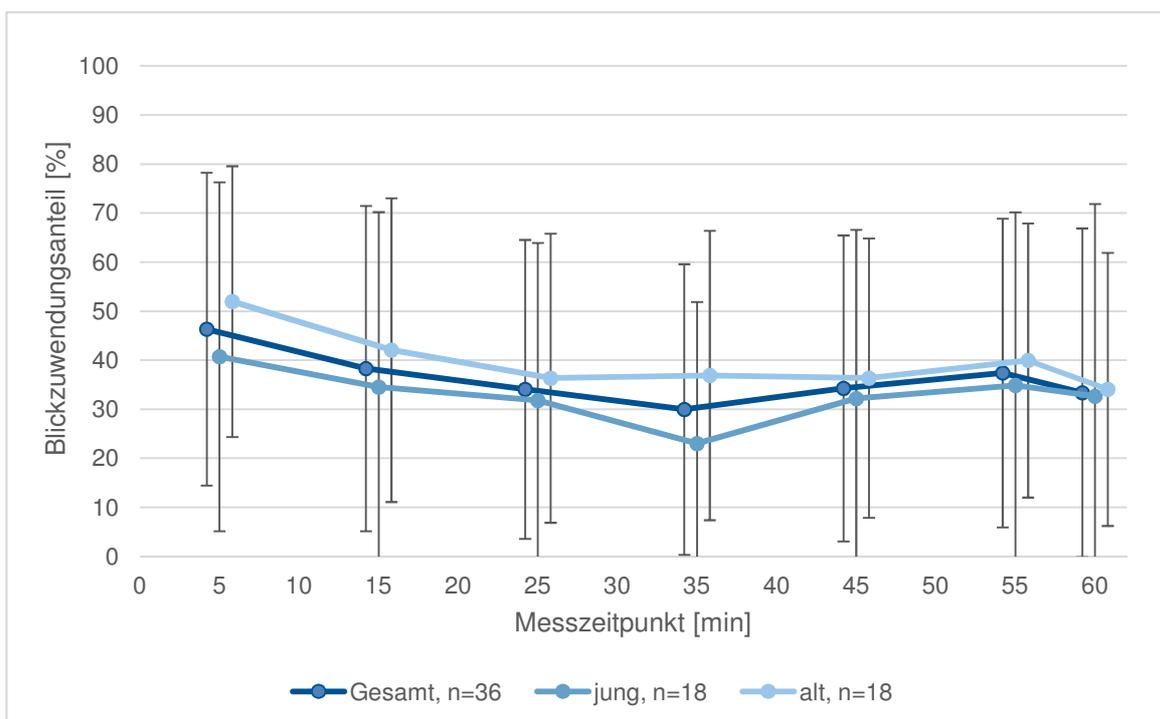


Abbildung 4-13: Zeitliche Entwicklung der durchschnittlichen Blickdauer zur Fahrscene über die Versuchsfahrt, Alterseffekt

Insgesamt wurde festgestellt, dass in der Hypovigilanzgruppe der Blickzuwendungsanteil zur Fahrscene im Verlauf der Fahrt bis Minute 35 einen starken Rückgang zu verzeichnen hat. Nach Minute 35 steigt dieser Anteil jedoch wieder leicht an. Für die FFT-Gruppe bleibt der Blickzuwendungsanteil relativ konstant über die gesamte Versuchsfahrt. Dabei ist jedoch zu beachten, dass mit der gewählten Methodik die Abnahme des Blickzuwendungsanteils nicht klar von geschlossenen Augen abzugrenzen ist.

Zwischen den Altersklassen besteht hinsichtlich des Blickzuwendungsanteils kein signifikanter Unterschied (siehe Abbildung 4-13).

### **Horizontale Blickverteilung: Zeitliche Entwicklung der Blickverteilung innerhalb der Fahrscene**

Als weiteren Indikator für den Fahrerzustand wurde die zeitliche Entwicklung der horizontalen Blickverteilung ausgewertet (siehe Kapitel 3.1.3). Hierfür wurde die Windschutzscheibe in sechs gleich große Teile unterteilt und die Frames gezählt, bei denen ein Blick auf die einzelnen Parzellen geworfen wurde. Die Parzellen wurden von eins bis sechs durchnummeriert (siehe Abbildung 4-8). Parzelle P2 repräsentiert für den Großteil der Versuchsfahrt den eigenen Fahrstreifen. Lediglich in Kurven mit engen Radien kann dies minimal abweichen, was jedoch vernachlässigt werden kann. P1, P3 und P4 repräsentiert, je nachdem auf welchem Fahrstreifen sich das Ego-Fahrzeug befindet, entweder den umgebenden Verkehr oder den Fahrbahnrand. Durch P5 und P6 wird die erweiterte Umgebung dargestellt.

Abbildung 4-14 zeigt die zeitliche Entwicklung der Blickverteilung in Abhängigkeit der jeweiligen Parzelle der gesamten Stichprobe, Abbildung 4-15 und Abbildung 4-16 zeigen eine zusätzliche Unterteilung der Blickverteilung in die jeweiligen Gruppen. Die statistische Auswertung von P2 ergab, dass Probanden der Hypovigilanzgruppe signifikant länger bzw. öfter auf die Fahrscene blickten als die der FFT-Gruppe ( $F(1,34) = 30.81$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .475$ ). Hinsichtlich des Messzeitpunkts ergaben sich ebenfalls signifikante Unterschiede ( $F(5,170) = 6.09$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .152$ ). Der Posthoc-Test zeigte, dass in Minute 5 signifikant länger und/oder öfter in P2 geblickt wurde als in Minute 25 und 35 (siehe Abbildung 4-14).

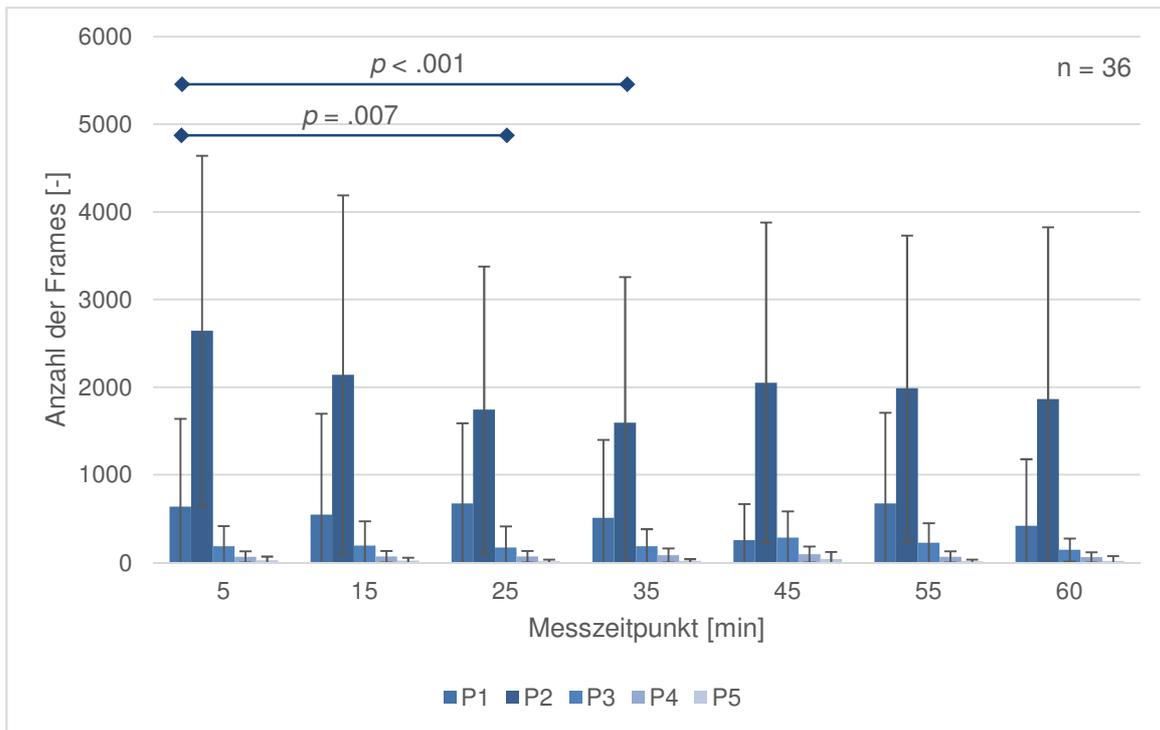


Abbildung 4-14: Zeitliche Entwicklung der Blickverteilung zur Fahrscene über die Versuchsfahrt, Gesamt

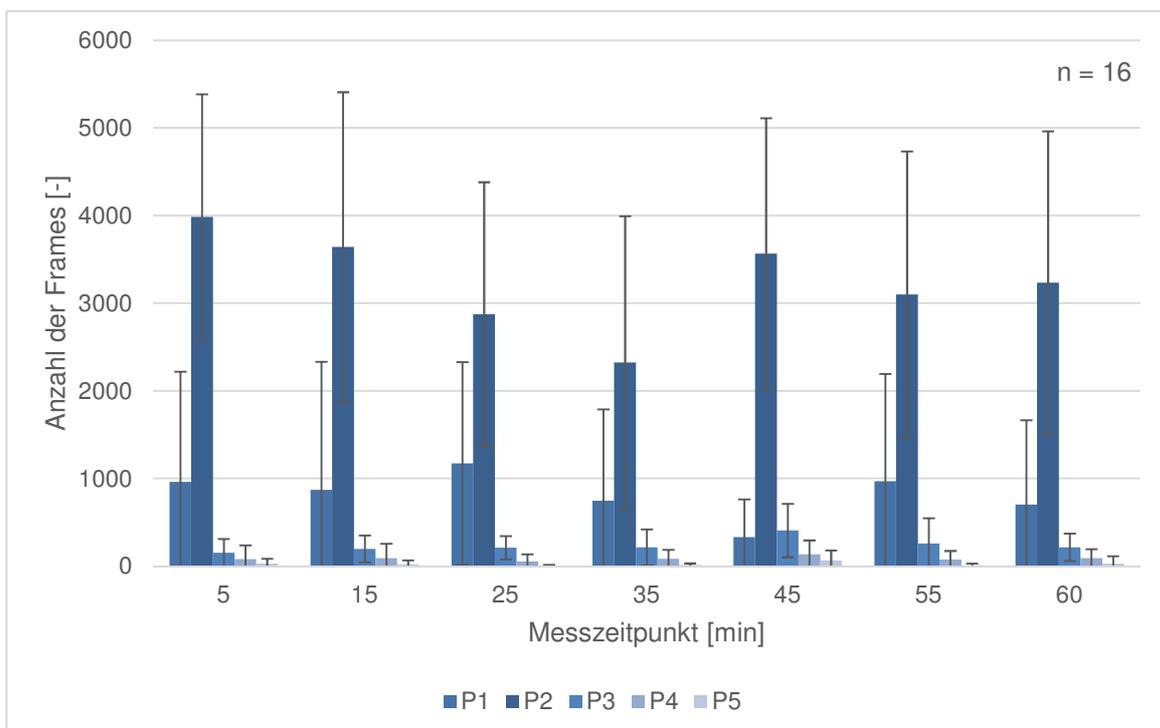


Abbildung 4-15: Zeitliche Entwicklung der Blickverteilung zur Fahrscene über die Versuchsfahrt, Hypovigilanzgruppe

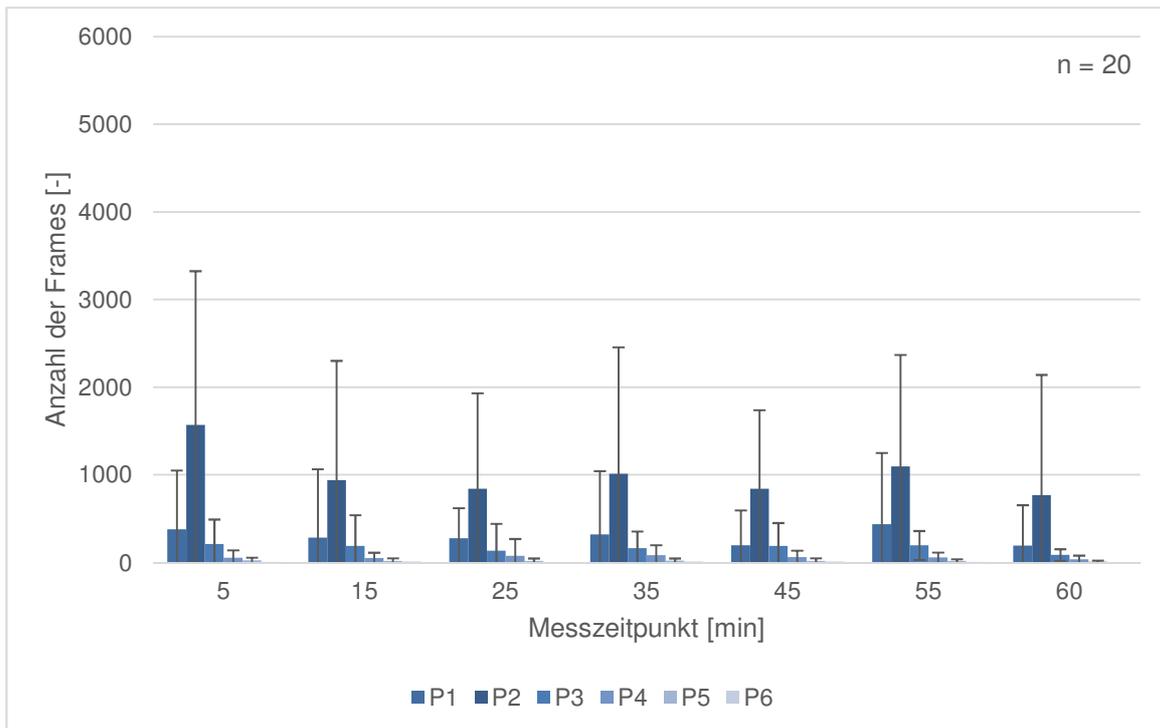


Abbildung 4-16: Zeitliche Entwicklung der Blickverteilung zur Fahrszene über die Versuchsfahrt, FFT-Gruppe

### ***Percentage of Eye Closure (PERCLOS)***

Der PERCLOS-Wert dient als Indikator für den Müdigkeitszustand der Probanden. Abbildung 4-17 zeigt den zeitlichen Verlauf über die Versuchsfahrt hinweg. Ist das Auge während eines Aufzeichnungszeitpunktes zu 80 Prozent oder mehr geschlossen, so geht dieser in die PERCLOS-Berechnung ein. Die dafür notwendige Augenöffnung wurde über den maximalen Augenöffnungswert während der ersten Versuchsminute ermittelt. Auffällig in den Verläufen ist ein starker Anstieg des PERCLOS-Wertes bei Probanden der Hypovigilanzgruppe in Minute 35, verbunden mit einer sehr hohen Standardabweichung. Nach dieser deutlichen Abnahme der Wachheit bzw. zunehmenden Ermüdung der Fahrer im ersten Drittel der 60 min HAF, zeigt sich darauffolgend eine rückläufige Entwicklung. Am Ende der Fahrt befindet sich das Wachheitslevel etwa auf dem Ausgangsniveau.

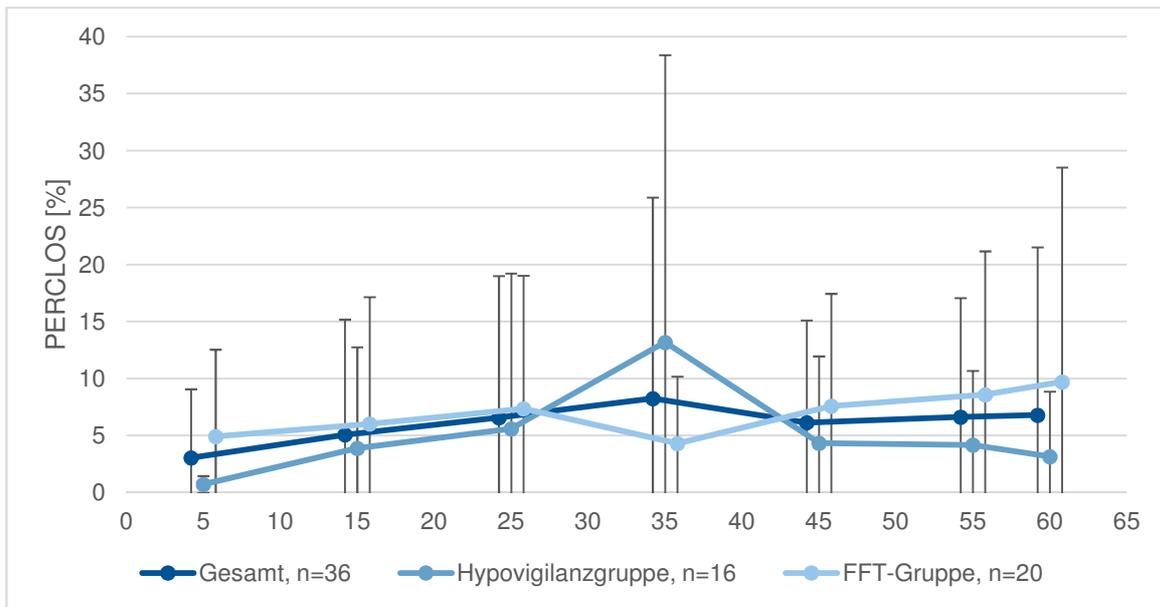


Abbildung 4-17: Zeitliche Entwicklung des PERCLOS-Werte über die Versuchsfahrt

Für Probanden der FFT-Gruppe scheint hingegen eine Verwendung dieser Metrik nicht sinnvoll. Die Probanden dieser Gruppe hielten überwiegend ihre Beschäftigungsmöglichkeiten (z. B. Smartphone und/oder Tablet) auf Höhe des Lenkrads oder sogar tiefer. Durch das Hinunterblicken auf die Tätigkeit und die daraus resultierende detektierte geringere Augenöffnung (höherer PERCLOS-Wert) kann nicht in Zusammenhang mit ermüdeten Fahrern gebracht werden. Aus diesem Grund sind die PERCLOS-Werte der FFT-Gruppe für die Beurteilung von Müdigkeit/Hypovigilanz nicht geeignet.

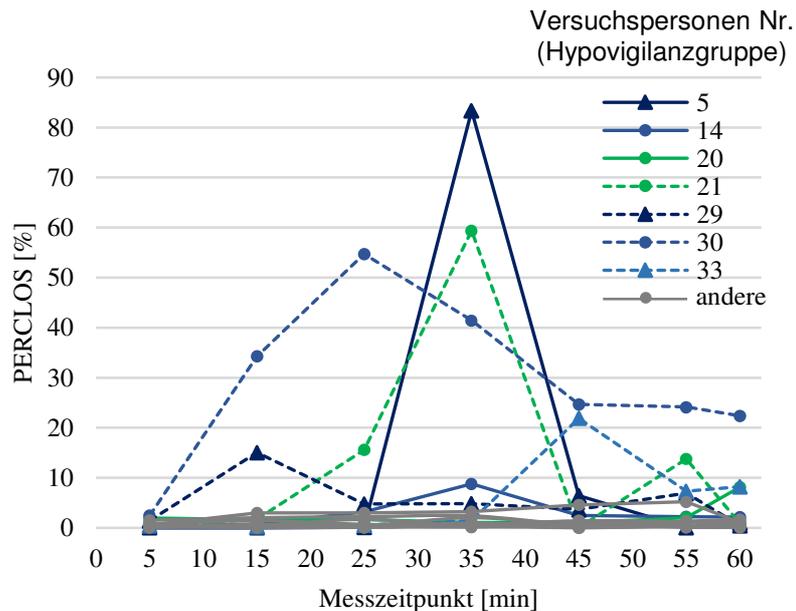


Abbildung 4-18: PERCLOS-Wert nach Versuchspersonen, Hypovigilanzgruppe. Nach Feldhütter, Hecht, Kalb & Bengler (2017).

Wierwille et al. (1994) zufolge ist der Zustand von Personen mit PERCLOS-Werten kleiner 7,5 % als nicht müde einzuordnen und zwischen 7,5 % und 12,5 % als fraglich. Personen mit PERCLOS-Werten größer 12,5 % können als moderat müde bzw. müde eingestuft werden (Hanowski, Bowman, Alden, Wierwille & Carroll, 2008; van Loon, Brouwer & Martens, 2015; Wierwille et al., 1994). PERCLOS-Werte von größer 25 % weisen auf höhere Müdigkeitslevel hin (Hanowski et al., 2008; Rosario et al., 2010; Wierwille et al., 1994; Wu et al., 2017). Bei genauerer Betrachtung der einzelnen Probanden der Hypovigilanzgruppe (Abbildung 4-18) zeigt, dass nicht alle Probanden während der 60 min HAF ermüdeten, sondern dies von der Versuchsperson abhängig ist: drei Probanden bewegten sich in einem fragwürdigen Bereich (PERCLOS-Wert zwischen 7,5 % und 12,5 %), vier Probanden erreichten moderate Müdigkeit (PERCLOS-Wert zwischen 12,5 % und 25 %) und drei Probanden erreichten sogar höhere Müdigkeitslevels (PERCLOS größer als 25 %). Hier war auch der Zeitpunkt, zu dem erhöhte Müdigkeit auftrat, sehr individuell, wobei ein Auftreten eher in den ersten zwei Dritteln der Versuchsfahrt zu verzeichnen war. Neun Versuchspersonen wiesen jedoch konstant sehr geringe PERCLOS-Werte (kleiner als 7,5 %) auf. Die Vermutung eines Zusammenhangs der PERCLOS-Werte mit Tageszeit oder vorherige Tätigkeit konnte allerdings nicht bestätigt werden.

Aufgrund der großen individuellen Unterschiede hinsichtlich Ausprägung und Zeitpunkt der Müdigkeitsentwicklung ergab die Varianzanalyse, die nur für die Hypovigilanzgruppe durchgeführt wurde, keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Messzeitpunkten.

Betrachtet man die Verläufe der PERCLOS-Werte getrennt für junge und alte Probanden, so fällt ein gegenläufiger Verlauf in Minute 45 auf (siehe Abbildung 4-19). Jedoch ergeben sich weder zwischen den zwei Altersgruppen noch zwischen den Messzeitpunkten ein signifikanter Unterschied.

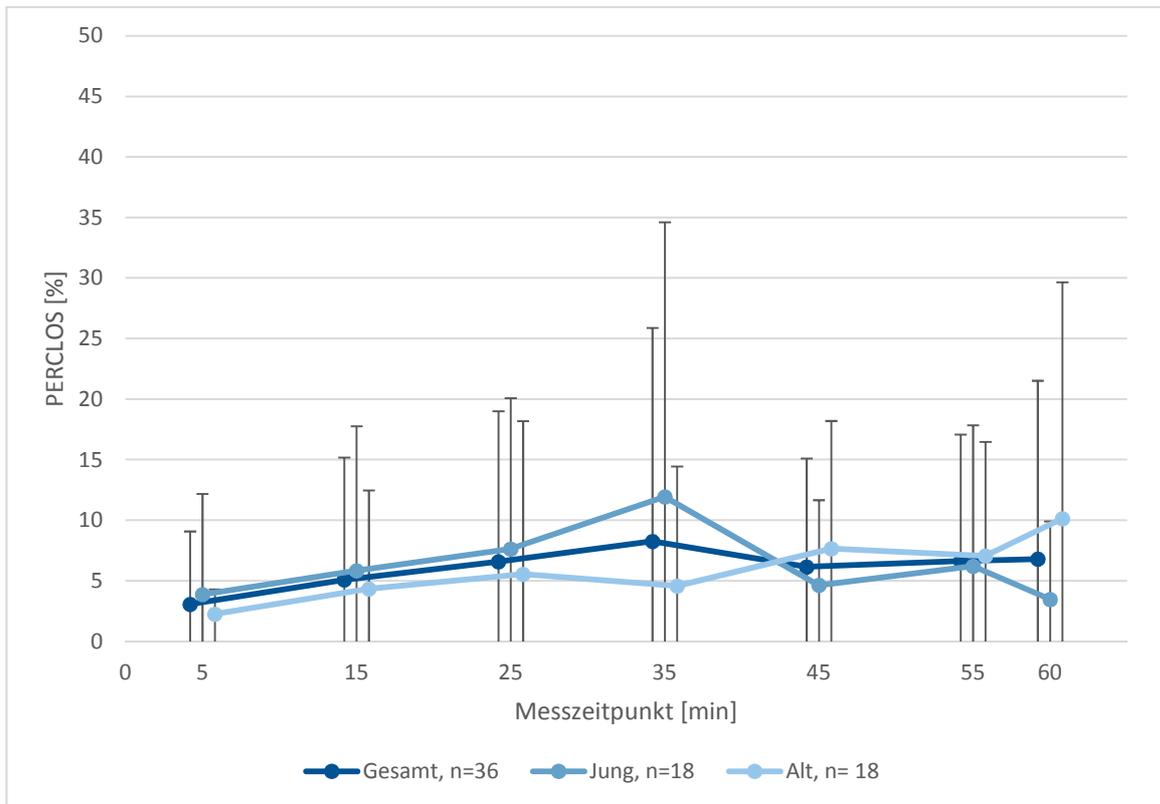


Abbildung 4-19: Zeitliche Entwicklung des PERCLOS-Werte über die Versuchsfahrt, Alterseffekt

### Blinzelhäufigkeit

Ein weiterer Indikator zur Bestimmung der Wachheit der Probanden ist, wie in Kapitel 2.1.1.3 erläutert, die Blinzelhäufigkeit, welche auch als Lidschlusshäufigkeit bezeichnet wird. Abbildung 4-20 zeigt diese im zeitlichen Verlauf der hochautomatisierten Fahrt. Aufgrund unzureichender Verfügbarkeit der Eye-Tracking Daten wurden weitere zehn Datensätze von der Auswertung ausgeschlossen, hauptsächlich aus der FFT-Gruppe. Ausgeschlossen wurden Datensätze, bei denen

die Qualität der Erfassung in einem Intervall unter 30 % sank, oder in zwei oder mehr Intervallen unter 50 %. Eine Betrachtung der Videoaufnahmen zusätzlich zu den von SmartEye ermittelten Werten hat ergeben, dass es insbesondere bei Probanden der FFT-Gruppe, welche ihren Blick senken, um der fahrfremden Tätigkeit nachzugehen, zu teilweise fehlerhafter Erfassung der Lidschläge kommt. Daher wurde eine händische Zählung der Lidschlussvorgänge anhand der Videodaten vorgenommen. Dabei wurde sich an SmartEye orientiert: SmartEye zählt Lidschlussvorgänge bis zu einer Dauer von 700 ms. Die Stichprobe umfasst aufgrund von technischen Problemen bei der Aufzeichnung 30 Versuchspersonen. Der händisch erfasste Verlauf der Blinzelhäufigkeit ist in Abbildung 4-21 dargestellt.

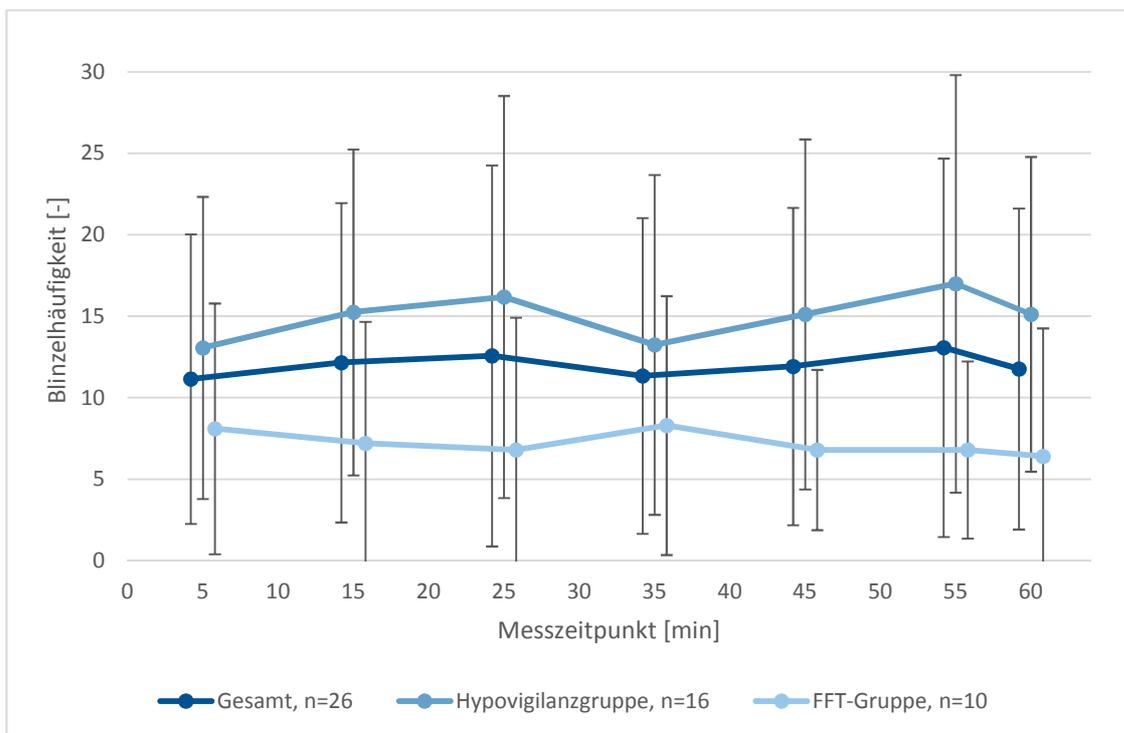


Abbildung 4-20: Zeitliche Entwicklung der mittleren Blinzelhäufigkeit über die Versuchsfahrt, ermittelt mit SmartEye

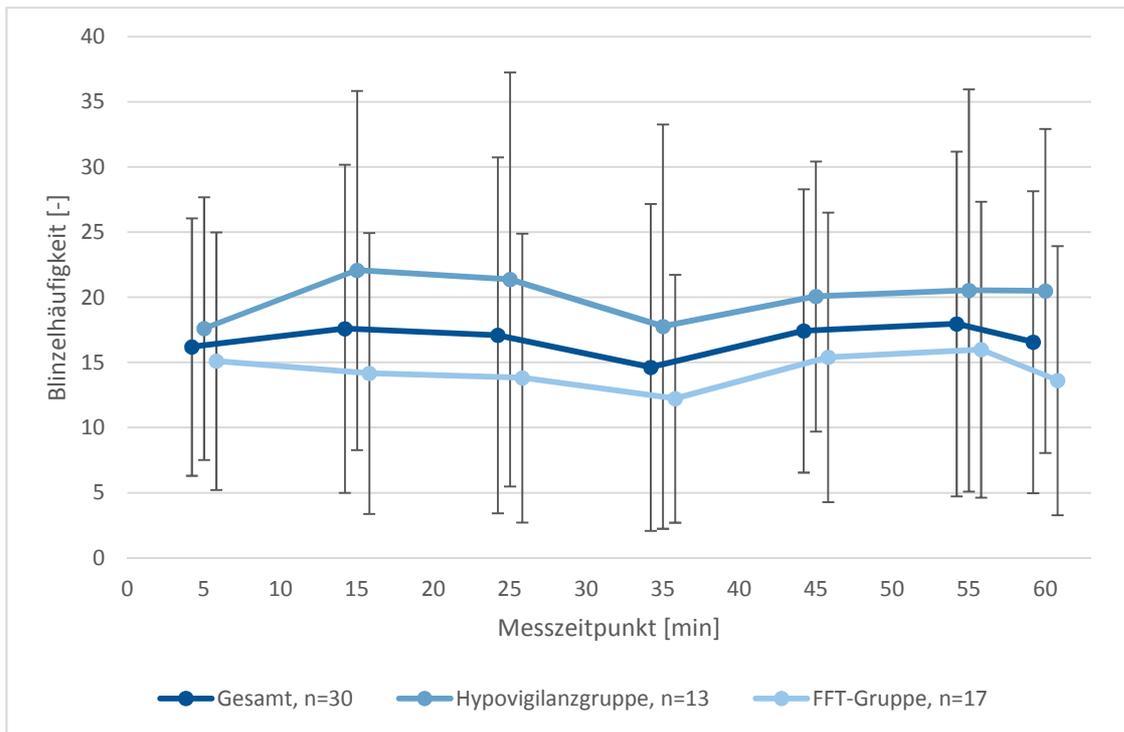


Abbildung 4-21: Zeitliche Entwicklung der mittleren Blinzelhäufigkeit über die Versuchsfahrt, händisch ermittelt

Es ergeben sich zwar Unterschiede in der Blinzelhäufigkeit zwischen den Gruppen, diese sind aber statistisch nicht signifikant. Probanden der Hypovigilanzgruppe blinzeln häufiger, zudem sind zwei Anstiege der Blinzelhäufigkeit zu beobachten. Unterschiede zwischen den Zeitpunkten sind ebenfalls nicht statistisch signifikant. In der FFT-Gruppe bleibt die Blinzelhäufigkeit konstant niedrig, was auf eine konstant bessere Wachheit hindeutet. Hargutt (2003) weist jedoch darauf hin, dass die Blinzelhäufigkeit vor allem als Indikator für Hypovigilanz genutzt werden sollte, für höhere Müdigkeitsstufen jedoch andere Lidschlussparameter aufschlussreicher sind. Es wird zudem deutlich, dass SmartEye etwas zu wenig Lidschlussvorgänge erkennt.

## Häufigkeit überlanger Lidschlussvorgänge

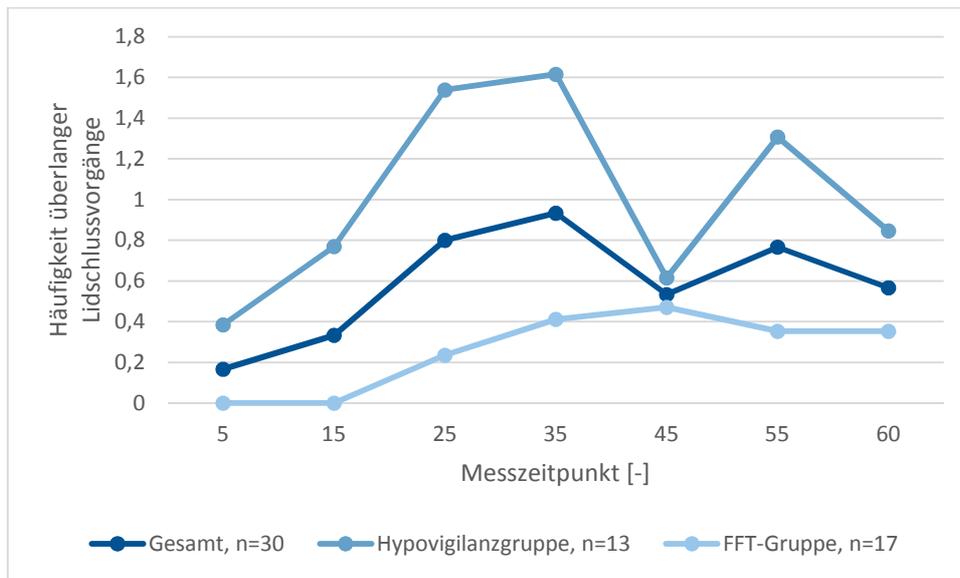


Abbildung 4-22: Zeitliche Entwicklung der mittleren Häufigkeit überlanger Lidschlussvorgänge über die Versuchsfahrt, händisch ermittelt

Bei der händischen Auswertung der Lidschlusshäufigkeit in den betrachteten Intervallen wurden zudem Blinzelvorgänge mit einer Dauer von über 0.5 Sekunden erfasst. Diese sind laut ISO 15007-1 Indikator für *microsleeps*, da sie die durchschnittliche Dauer eines normalen Lidschlussvorgangs (257 ms) deutlich überschreiten. Wierwille et al. (1994) sehen darüber hinaus in Lidschlussvorgängen mit einer Dauer von mehr als 2 s einen Indikator für starke Müdigkeit. Der Verlauf der Häufigkeit überlanger Lidschlussvorgänge ( $>0.5$  s) ist in Abbildung 4-22 dargestellt. Sie treten bei Probanden der FFT-Gruppe generell seltener auf. In der Hypovigilanzgruppe ist ein Anstieg bis Minute 35 zu beobachten, gefolgt von einem Abfall im darauffolgenden Messzeitpunkt und einem erneuten Anstieg in Minute 55.

### Mind Wandering: Auswertung der drei Ereignisse während der Versuchsfahrt

Für die Beurteilung von *Mind Wandering* wurden die Probanden nach der Versuchsfahrt zu ungewöhnlichen Vorkommnissen befragt (vgl. Kapitel 3.1.4). Falls die Probanden mit ja antworteten und nicht alle drei Ereignisse nennen konnten, wurden die Liste an Ereignissen vorgelegt. Da nur neun der 42 Probanden (21 %) berichteten, etwas Ungewöhnliches gesehen zu haben, ist der Datensatz für eine sinnvolle Auswertung zu klein.

#### **4.2.4. Natürliches Verhalten und fahrfremde Tätigkeiten (nur FFT-Gruppe)**

Um Erkenntnisse bezüglich des natürlichen Verhaltens von Personen während einer längeren hochautomatisierten Autofahrt zu gewinnen, wurden Probanden der FFT-Gruppe während der Fahrt mit Hilfe einer GoPro-Kamera gefilmt.

Die Tätigkeiten der Probanden während der Fahrt wurden zur besseren Verwertbarkeit protokolliert und in insgesamt fünf Gruppen eingeteilt. Generell wurden Tätigkeiten auf fünf Sekunden genau notiert, Unterbrechungen der Tätigkeiten ab einer Dauer von etwa 15 Sekunden. Die darauf folgende Einteilung orientiert sich an der von Petermann-Stock et al. (2013) vorgenommenen Unterteilung nach Art der Beanspruchung, welche wiederum aus einer Expertenbefragung hervorging. Folgende Gruppen wurden klassifiziert:

- Niveau 0: keine fahrfremde Tätigkeit
- Niveau 1: akustisch + kognitiv (z.B. Radio, Hörbuch oder Musik hören)
- Niveau 2: akustisch + kognitiv + visuell (z.B. Video schauen auf Tablet)
- Niveau 3: akustisch + kognitiv + visuell + motorisch (z.B. spielen auf Tablet, Handy- oder Laptopnutzung, lesen, telefonieren)
- Niveau 4: schlafen

Die Tätigkeiten einer Person wurden hinsichtlich ihrer Dauer, der Gesamtanzahl verschiedener Tätigkeiten und dem Wechsel zwischen den fahrfremden Tätigkeiten ausgewertet. Dies geschah nach den folgenden Richtlinien: Für die Dauer der ausgeübten Beschäftigungen wurden die Zeiten der zu den jeweiligen Beanspruchungsniveaus gehörenden Tätigkeiten zusammengezählt. Wurden vom Proband mehrere Tätigkeiten zur gleichen Zeit ausgeübt, so wurde die Tätigkeit mit dem höchsten Niveau gewertet. Ziel hierbei ist es, eine Aussage über die Zeitnutzung treffen zu können, bezogen auf die Art der Beanspruchung der fahrfremden Tätigkeit. Bei der Anzahl fahrfremder Tätigkeiten wurde die Anzahl unterschiedlicher Tätigkeiten gezählt. Bei der Laptop- bzw. Handynutzung konnte aufgrund der Position der Kamera nicht weiter unterschieden werden in die Art der Nutzung (z. B. Mails beantworten oder Spielen) und wurde daher als die gleiche Tätigkeit gewertet. Die Nutzung des Tablets kann jedoch in Spielen, Videos schauen und Musik bzw. Hörbuch hören unterteilt werden. Die Bedienung des Tablets, z. B. zur Auswahl eines Radiosenders, zum Starten eines Videos, oder Ähnlichem, wurde zur

darauffolgenden Tätigkeit hinzugezählt und nicht extra gewertet. Lediglich bei dem Fall, dass einer Tabletbedienung keiner der o.g. Tätigkeiten folgt, wird die Bedienung bereits als eigene Tätigkeit gezählt. Ebenso wird die Veränderung der Lautstärke am Tablet oder dem mobilen Lautsprecher nicht als eigene Tätigkeit gezählt, wenn sie während des Abspielens von Audio- oder Videodateien erfolgt. Oben genannte Kriterien wurden auch für die Zählung der Wechsel von einer fahrfremden Tätigkeit auf eine andere bzw. keine Tätigkeit angewandt. Abbildung 4-23 und Abbildung 4-24 zeigen häufig bzw. selten aufgetretene Tätigkeiten.

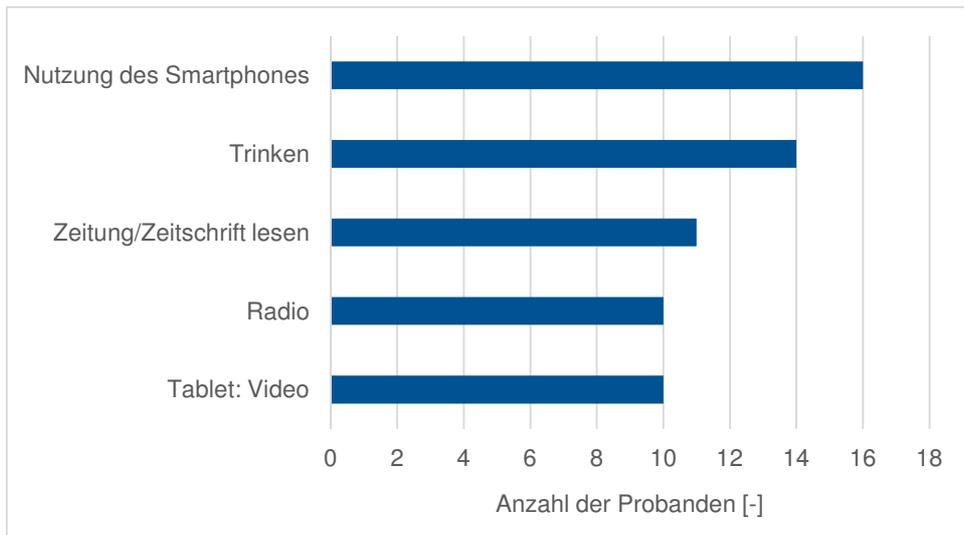


Abbildung 4-23: Häufig ausgeübte Tätigkeiten und die zugehörige Anzahl der Probanden

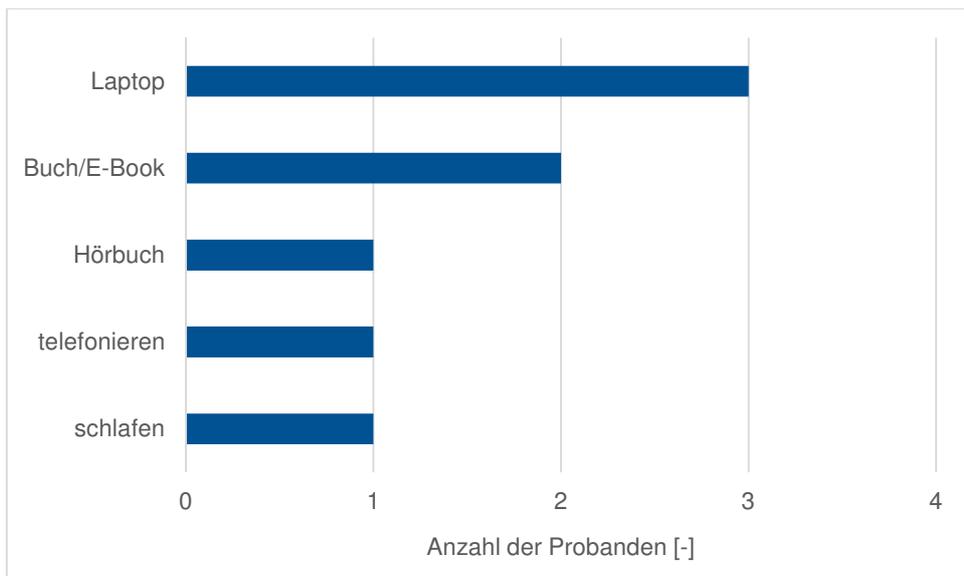


Abbildung 4-24: Selten ausgeübte Tätigkeiten und die zugehörige Anzahl der Probanden

Lediglich ein Proband der FFT-Gruppe schläft, einer telefoniert, einer hört ein Hörbuch und zwei lesen ein E-Book. Drei Probanden nutzen ihren mitgebrachten Laptop. Demgegenüber stehen 16 Probanden, die ihr Smartphone während der Versuchsfahrt nutzen, 14 trinken, elf lesen während der Fahrt mindestens einmal die ausgelegten Zeitungen bzw. Zeitschriften.

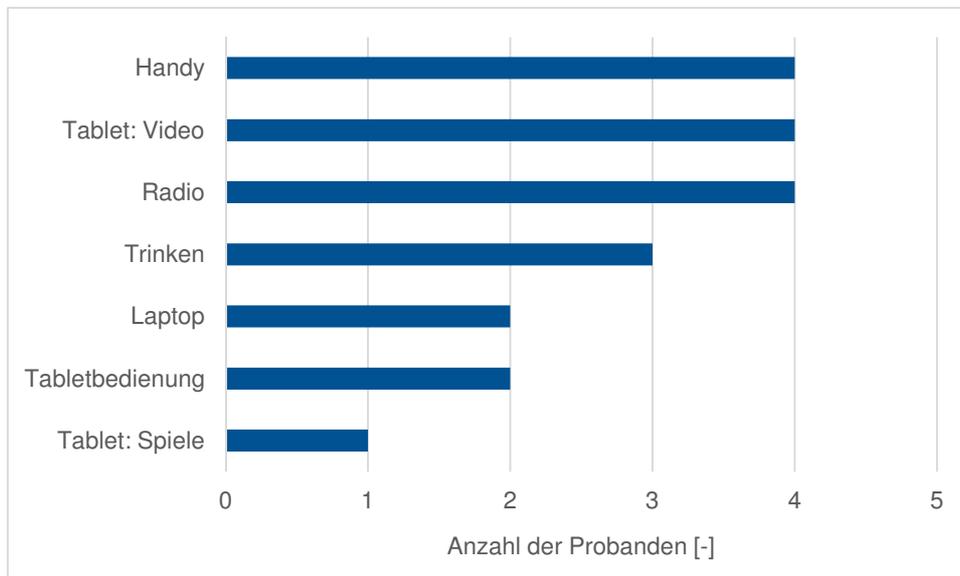


Abbildung 4-25: Erste ausgeübte Tätigkeit und die zugehörige Anzahl der Probanden

Die Zeit bis zur Aufnahme der ersten fahrfremden Tätigkeit, gemessen von der Wegnahme der Hände vom Lenkrad nach Aktivierung der Automation, beträgt durchschnittlich für alle Probanden 1 min und 24 s. Schließt man außerdem Versuchsperson 41, welche erst nach 19.5 min einer Tätigkeit nachgeht, als extremen Ausreißer aus der Berechnung aus, so beträgt die mittlere Zeit bis zur Aufnahme lediglich 29 s. Bezogen auf diese Dauer wurden keine Korrelation mit dem Systemvertrauen und kein signifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen gefunden. Wie in Abbildung 4-25 zu sehen, sind die häufigsten ersten Tätigkeiten Radio hören, Videos auf dem eingebauten Tablet schauen und die Nutzung des eigenen Smartphones.

Im Durchschnitt beschäftigen sich die Probanden mit vier bis fünf verschiedenen fahrfremden Tätigkeiten und wechseln 13 bis 14 Mal zwischen diesen. Hierbei liegen ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Altersgruppen vor. Jedoch besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen Anzahl bzw. Wechsel der Tätigkeiten und

dem Systemvertrauen vor dem Versuch (Anzahl:  $r = -.44$ ,  $p = .047$ , Wechsel:  $r = -.80$ ,  $p < .001$ ). Je höher das Systemvertrauen, desto weniger verschiedene Tätigkeiten werden ausgeübt und desto weniger Wechsel in den Tätigkeiten gibt es. Es wird vermutet, dass Personen mit höherem Systemvertrauen sich stärker in die gewählte Tätigkeit vertiefen, als Personen mit geringerem Vertrauen und sich somit konzentrierter und länger mit der Tätigkeit beschäftigen.

Abbildung 4-26 zeigt die durchschnittliche Zeit der Probanden je Tätigkeitsniveau. Im Durchschnitt verbrachten die Probanden etwa 41 der 60 min Fahrt mit Tätigkeiten des höchsten Beanspruchungsniveaus. Niemand geht während der kompletten Fahrt keiner Tätigkeit nach, zudem werden durchschnittlich nur 3.4 min (6 % der Fahrzeit) komplett ohne Tätigkeit verbracht. Es zeigen sich jedoch signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen für die Tätigkeitsniveau 2 ( $t(11.1) = 2.40$ ,  $p = .036$ ) und 3 ( $t(12.2) = 5.00$ ,  $p < .001$ ). Ältere Probanden beschäftigen sich also häufiger bzw. länger mit Tätigkeiten des Niveaus 2, jüngere hingegen mit Niveau-3-Tätigkeiten. Zwischen der Übernahmeleistung (TOT, TTC und Beschleunigungen) und dem Tätigkeitsniveau während bzw. kurz vor der Übernahme zeigte sich kein Zusammenhang. Vier der 21 Probanden (19 %) beschäftigten sich zudem bei der Übernahme mit keiner fahrfremden Tätigkeit und ein Proband (5 %) schläft während der Übernahme seit mehreren Minuten ohne die Augen zu öffnen. Bei einem weiteren Probanden treten überlange Lidschlüsse ( $>2$  s) auf.

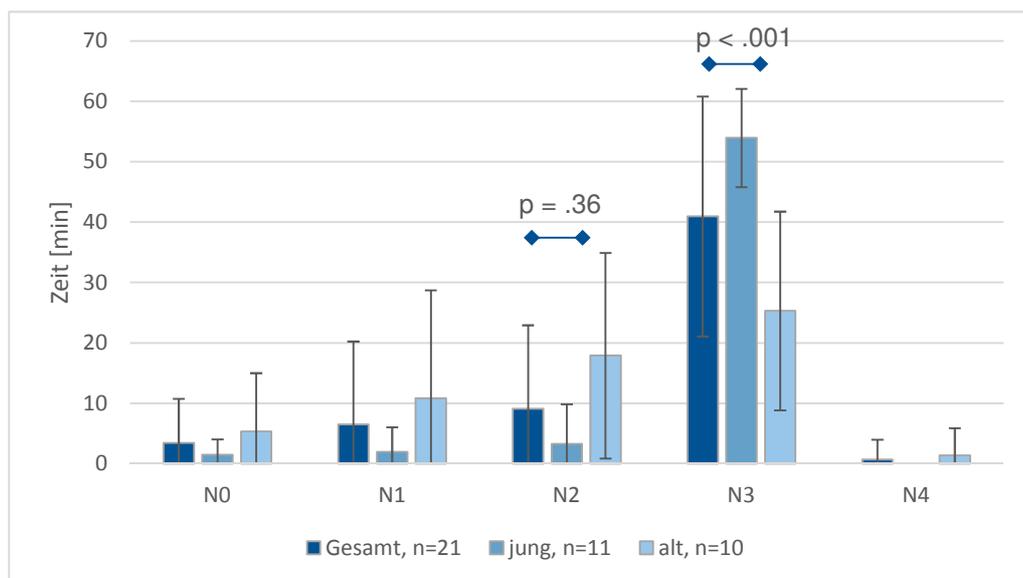


Abbildung 4-26: Durchschnittliche Zeit, welche von den Probanden während der 60-minütigen Fahrt mit Tätigkeiten des jeweiligen Beanspruchungsniveaus (N0-N4) verbracht wurde

Es konnte zudem kein Zusammenhang zwischen der Dauer der letzten fahrfremden Tätigkeit und der Übernahmequalität festgestellt werden. Versuche, hierüber den Einfluss der Involviertheit in eine FFT auf die Übernahme besser abzubilden, führten also zu keinem Ergebnis.

Außerdem zeigte sich keine Tendenz hinsichtlich der Art des ersten Eingriffs nach der Übernahmeaufforderung (bremsen/lenken) in Abhängigkeit der zu diesem Zeitpunkt ausgeführten fahrfremden Tätigkeit: Von zwölf Personen, die zum Zeitpunkt des TORs einer motorischen Tätigkeit nachgehen, lenken zehn zuerst, zwei hingegen nutzen erst die Bremse. Eine Person lenkt und bremst gleichzeitig. Von acht Personen, die zum Zeitpunkt des TORs keiner motorischen Tätigkeit nachgehen, lenken vier zuerst, vier bremsen zuerst.

#### **4.2.5. Übernahmezeit und -qualität**

Zwischen Hypovigilanz- und FFT-Gruppe konnten hinsichtlich Übernahmezeit und TTC keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (siehe Abbildung 4-27). Probanden der Hypovigilanzgruppe sind marginal schneller bei der Übernahme ( $t(40) = -0.26, p = .795$ ), haben jedoch auch etwas kürzere TTC und damit kritischere Situationen ( $t(39) = -1.31, p = .173$ ). Ein älterer Proband aus der FFT-Gruppe fuhr in das stehende Fahrzeug hinein und verursachte somit eine Kollision. Diese war die einzige nicht erfolgreiche Übernahme des Versuchs. Dieser Proband wurde definitionsgemäß von der Auswertung der TTC ausgeschlossen. Für den Parameter *Eyes-on-Road* Zeit (EoR) fällt die Stichprobe deutlich kleiner aus, da viele Probanden der Hypovigilanzgruppe während der Übernahmeaufforderung ihre Augen bereits auf der Straße hatten. Diese Probanden wurden von der Auswertung ausgeschlossen, da diese mit einer EoR-Zeit von 0 ms das Ergebnis verfälscht hätten. Neun weitere Datensätze mussten aufgrund fehlender Verfügbarkeit des Eyetrackings während der Übernahme von der Auswertung ausgeschlossen werden. Es zeigt sich die nicht signifikante Tendenz, dass Probanden der ersten Gruppe schneller wieder mit ihren Blicken auf der Straße sind ( $t(17) = -1.27, p = .220$ ).

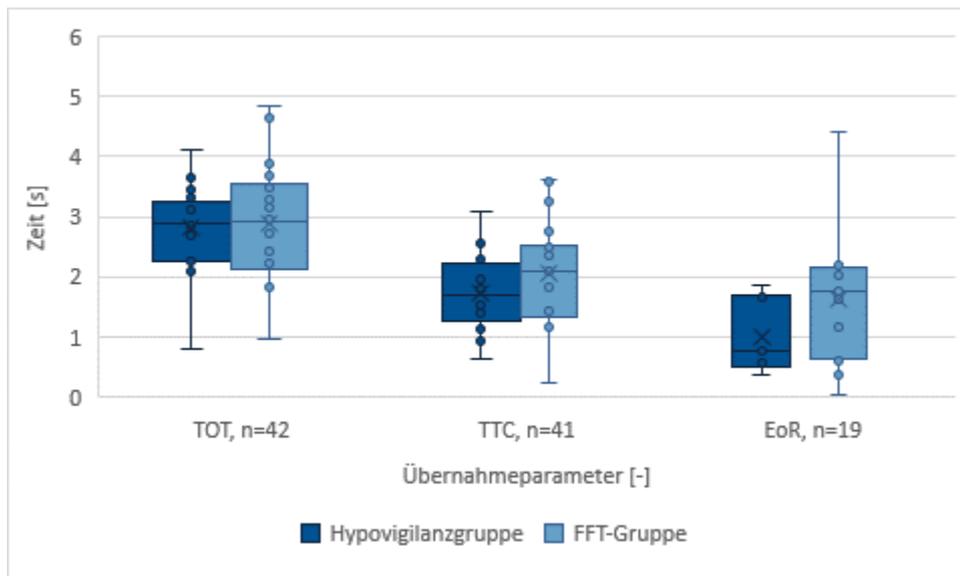


Abbildung 4-27: Übernahmeparameter TOT, TTC und EoR in Abhängigkeit der Gruppenzugehörigkeit

Es besteht außerdem eine Tendenz der Probanden aus der Hypovigilanzgruppe zu einer stärkeren Querbeschleunigung ( $t(40) = 1.83, p = .074$ ). Bei der maximal auftretenden Längsbeschleunigung wurden signifikante Unterschiede deutlich ( $t(37.8) = 2.40, p = .023$ ): Probanden der FFT-Gruppe bremsen im Anschluss an die Übernahmeaufforderung deutlich stärker als Probanden der Vergleichsgruppe (siehe Abbildung 4-28).

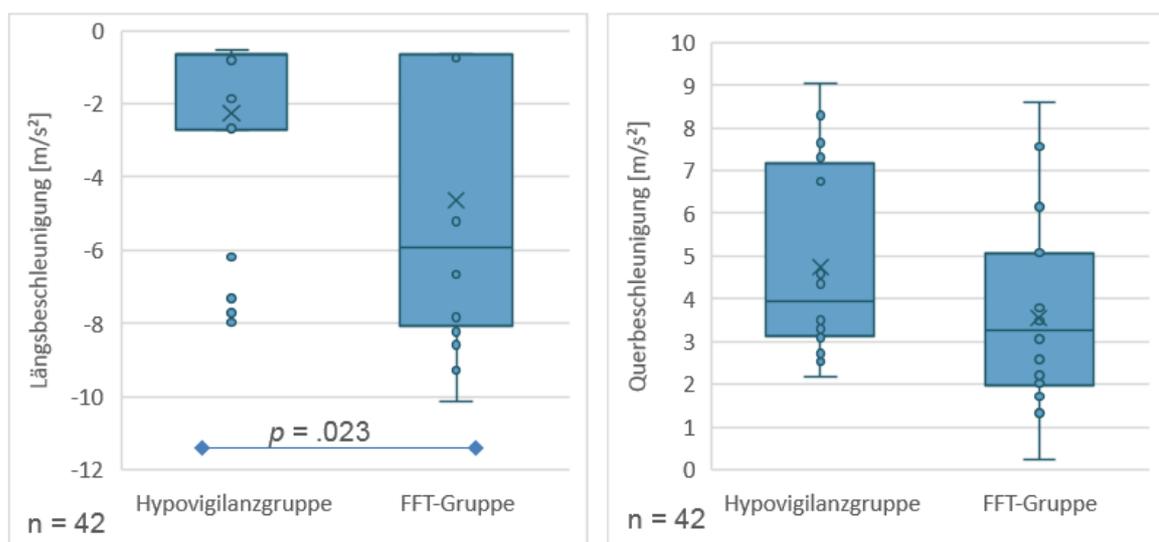


Abbildung 4-28: Maximale Längs- (links) und Querbeschleunigung (rechts) in Abhängigkeit der Gruppenzugehörigkeit

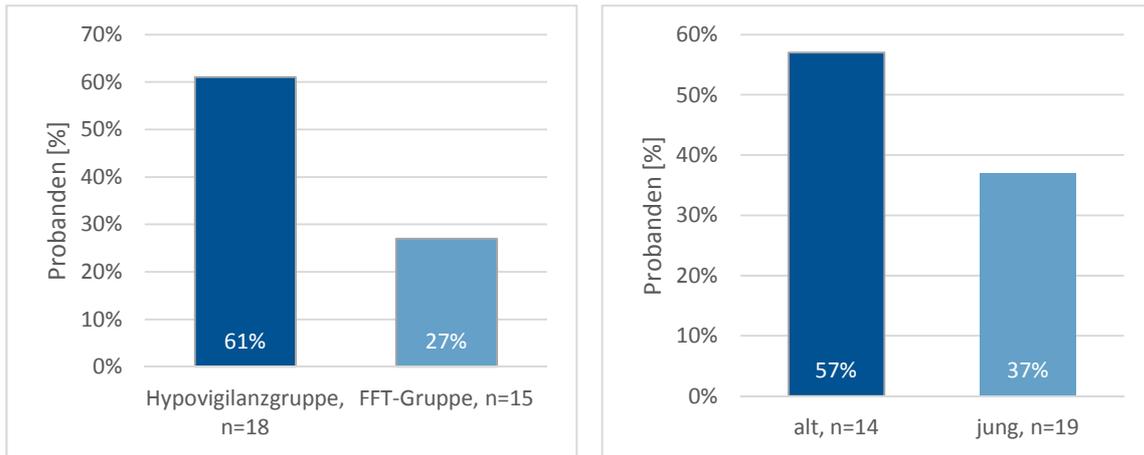


Abbildung 4-29: Anteil der Probanden in Prozent aus der jeweiligen Tätigkeits- oder Altersgruppe, die eine Absicherung des Fahrstreifenwechsels nach der Übernahmeaufforderung durchführte

Weiter wurde überprüft, ob die Übernahme von den Probanden durch einen Blick in Rück- oder Seitenspiegel abgesichert wurde. Aufgrund von Erkennungsproblemen des Eyetracking-Systems beträgt die Stichprobe hierfür  $n = 33$ . Insgesamt sicherten 15 Probanden (46 %) beim Ausweichmanöver ab. 61 % davon aus der Hypovigilanzgruppe, 27 % aus der FFT-Gruppe und 57 % der Älteren, 36 % der Jüngeren (siehe Abbildung 4-29). Abbildung 4-30 zeigt die Altersverteilung in den Tätigkeitsgruppen.

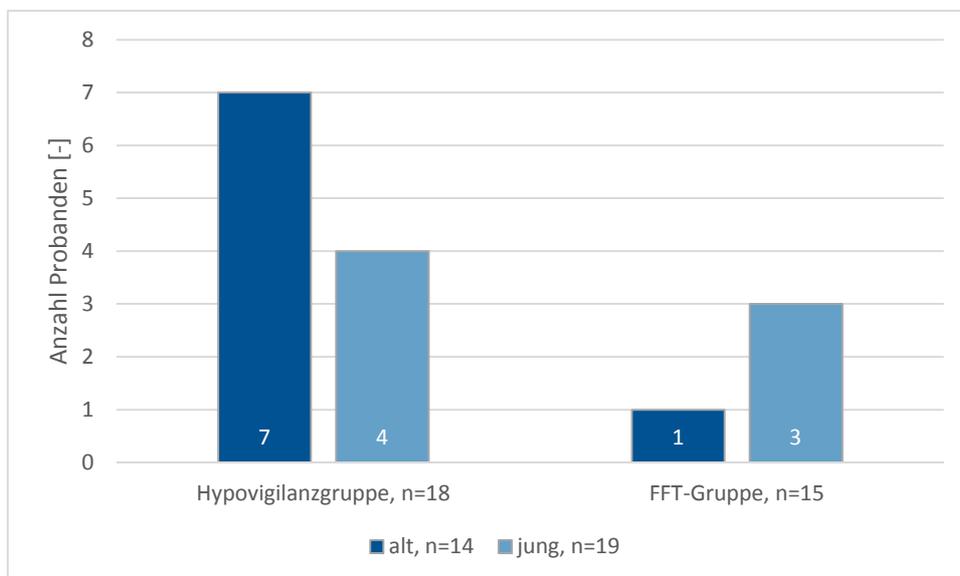


Abbildung 4-30: Absolute Anzahl an Probanden aus der jeweiligen Alters- und Tätigkeitsgruppe, die eine Absicherung beim Fahrstreifenwechsel durchführte

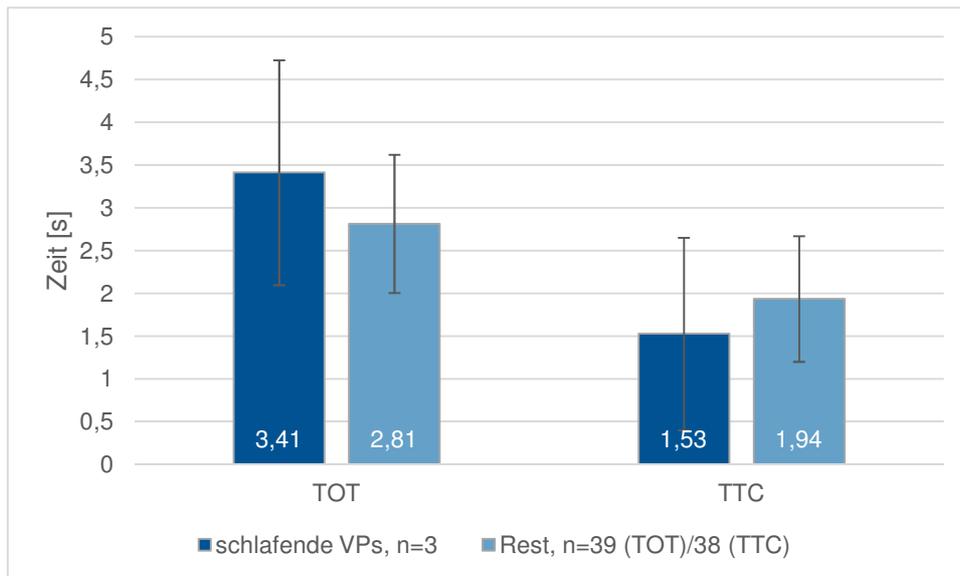


Abbildung 4-31: Übernahmeparameter TOT und TTC von schlafenden Probanden im Vergleich,

Bei der Betrachtung der drei während der Übernahme schlafenden Probanden fällt eine Tendenz zu geringfügig langsameren und kritischeren Übernahmen auf. Als schlafend wurden sowohl Probanden gewertet, die nur für wenige Sekunden die Augen geschlossen hatten, als auch Probanden, die bereits längere Zeit die Augen geschlossen hatten. Die Stichprobe von schlafenden Probanden ( $n = 3$ ) ist jedoch zu klein, um eine fundierte Aussage treffen zu können (vgl. Abbildung 4-31).

Der aus der Literatur bekannte Alterseffekt bei den Übernahmezeiten konnte ansatzweise auch in dieser Studie gefunden werden. Es besteht eine statistisch nicht eindeutig nachweisbare Tendenz zu höheren Übernahmezeiten ( $r = .25$ ,  $p = .110$ ) und geringerer TTC ( $r = -.26$ ,  $p = .098$ ) bei älteren Probanden. Es konnte kein Einfluss des Alters auf Längs- und Querbeschleunigung festgestellt werden.

Ebenfalls kein Zusammenhang konnte für Systemvertrauen vor dem Versuch und Übernahmezeiten gefunden werden. Außerdem wurden keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den meisten physiologischen Daten (Blickzuwendungsanteil, Herzfrequenz, Lidschlusshäufigkeit) in der Minute vor der Übernahme und den Übernahmeparametern festgestellt. Es zeigt sich jedoch eine signifikante Korrelation zwischen PERCLOS und der Übernahmezeit ( $r = .424$ ,  $p = .010$ ) sowie zwischen PERCLOS und TTC ( $r = -.387$ ,  $p = .020$ ). Eine Analyse der Videodaten hat jedoch ergeben, dass die Augenöffnung und somit PERCLOS

besonders in der FFT-Gruppe von SmartEye nicht immer fehlerfrei bestimmt wird und daher diese Ergebnisse kritisch hinterfragt werden müssen.

#### 4.2.6. Subjektive Daten: Mind Wandering und Systemvertrauen

Die Auswertung des DSSQ ergab anders als erwartet keine signifikanten Unterschiede zwischen Hypovigilanz- und FFT-Gruppe ( $t(40) = .71, p = .482$ ) (siehe Abbildung 4-32). Der errechnete durchschnittliche *Mind Wandering*-Wert liegt in der Hypovigilanzgruppe mit 1.93 lediglich geringfügig höher als in der FFT-Gruppe (1.83).

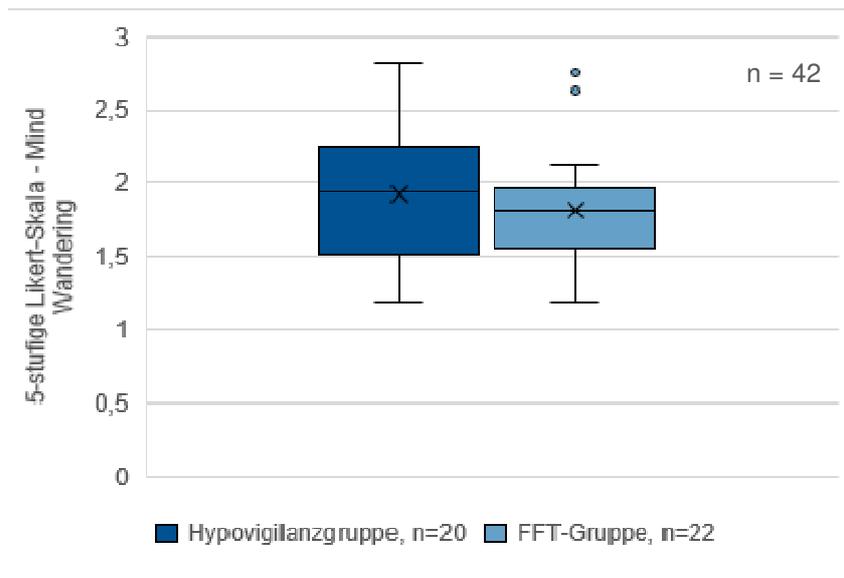


Abbildung 4-32: Mind Wandering in Abhängigkeit der Gruppenzugehörigkeit

Wie bereits im Vorversuch wurde außerdem ein Zusammenhang zwischen Alter und abschweifenden Gedanken gefunden: ältere Probanden gingen weniger abschweifenden Gedanken nach ( $t(40) = 2.02, p < .001$ ) ( $r = -.52, p < .001$ ) (siehe Abbildung 4-33).

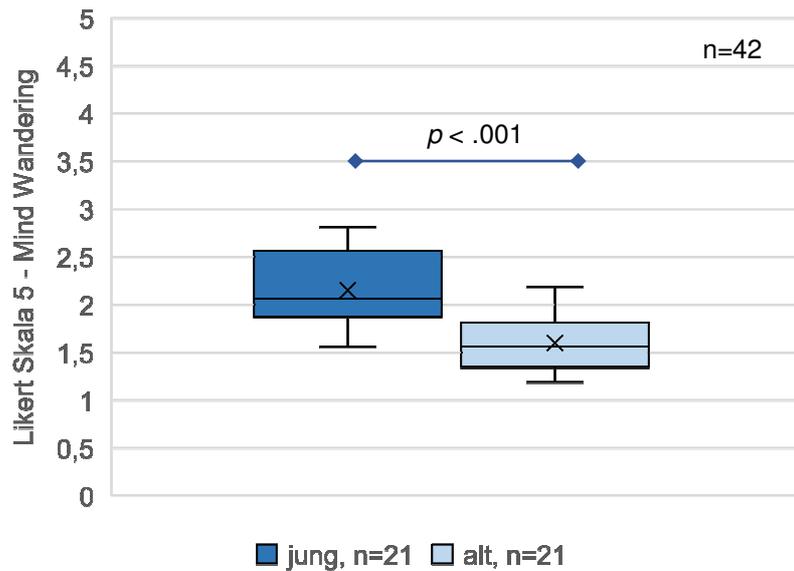


Abbildung 4-33: Mind Wandering in Abhängigkeit der Altersgruppe

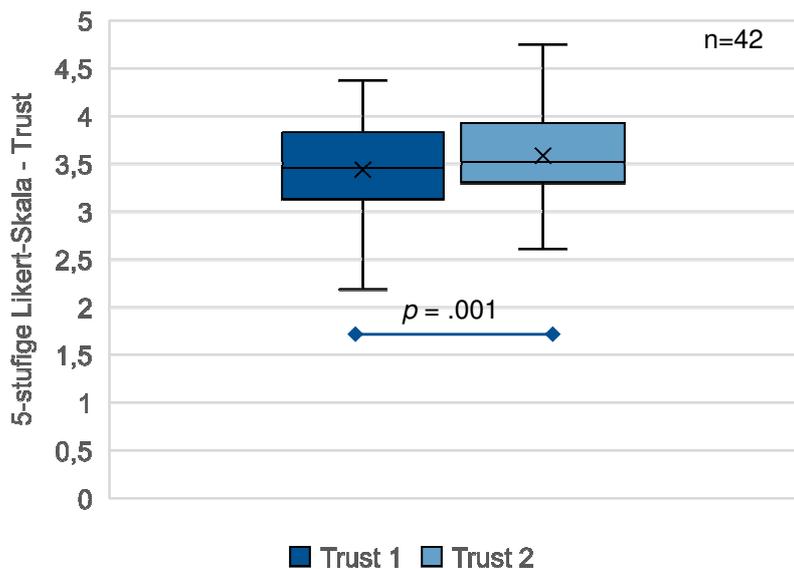


Abbildung 4-34: Systemvertrauen in Abhängigkeit des Messzeitpunkts

Es zeigt sich außerdem ein signifikanter Unterschied beim Systemvertrauen zwischen den Messzeitpunkten vor und nach dem Versuch ( $F(1,38) = 11.72, p = .001, \eta^2 = .236$ ); sowie ein signifikanter Geschlechterunterschied ( $F(1,38) = 4.69, p = .037, \eta^2 = .110$ ) (siehe Abbildung 4-34). Ein Altersunterschied konnte nicht festgestellt werden.

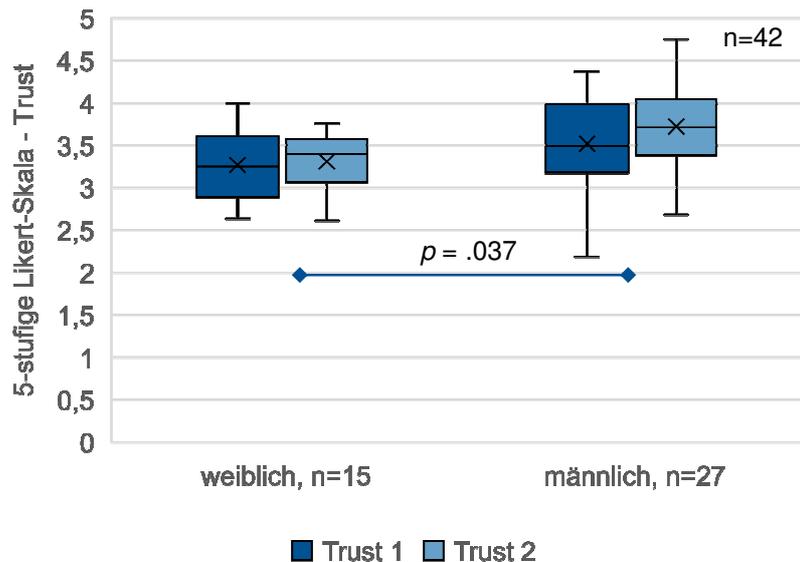


Abbildung 4-35: Systemvertrauen in Abhängigkeit des Messzeitpunkts und unterteilt nach Geschlecht

Das Systemvertrauen ist zudem umso größer, je offensiver der Fahrstil ist (Trust 1:  $r = .36$ ,  $p = .021$ ; Trust 2:  $r = .32$ ,  $p = .036$ ) und je größer die Technikaffinität der Probanden ist (Trust 1:  $r = .55$ ,  $p < .001$ ; Trust 2:  $r = .34$ ,  $p = .027$ ).

### 4.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Ziel der Studie bestand darin, die Relevanz von Hypovigilanz im Kontext des hochautomatisierten Fahrens und den Einfluss natürlicher fahrfremder Tätigkeiten zu untersuchen. Hierfür wurde das Probandenkollektiv in zwei Gruppen eingeteilt: die Hypovigilanzgruppe ohne fahrfremde Tätigkeiten und die FFT-Gruppe mit selbst gewählten fahrfremden Tätigkeiten. Außerdem wurden alle erhobenen, physiologischen Daten in Minute 5–6, 15–16, 25–26, 35–36, 45–56 und 55–56 verglichen, um eine Veränderung des Fahrerzustands im Verlauf der hochautomatisierten Fahrt zu erkennen.

Bei der Metrik Blickzuwendungsanteil zur Fahrszene konnte ein Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden. Hierbei warfen Probanden der FFT-Gruppe weniger Kontrollblicke zur Fahrszene, waren also insgesamt abgelenkter durch die Beschäftigung mit FFT, dafür aber aktiver (Herzfrequenz, statistisch nicht signifikante Tendenz). Darüber hinaus wurde bei dem Blickzuwendungsanteil

zur Fahrszene eine signifikante Veränderung über die Zeit festgestellt. Besonders in der Hypovigilanzgruppe kam es zu einer Abnahme der Blickzuwendung und der Herzfrequenz (nicht signifikant) bis Minute 35. Danach war diese Entwicklung rückläufig. Es wird vermutet, dass die Probanden der Hypovigilanzgruppe bis Minute 35 stetig müder bzw. hypovigilanter wurden, sich dann aber wieder erholten, sodass sie zum Zeitpunkt der Übernahme wieder ungefähr den Anfangszustand erreicht hatten. Auch der Verlauf der PERCLOS-Werte deutet auf eine verringerte Wachheit in Minute 35 und anschließende Erholung hin.

Hinsichtlich der Übernahmezeit und -qualität konnte kein Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden außer bei der Längsbeschleunigung (Probanden der FFT-Gruppe bremsen stärker als die der Hypovigilanzgruppe). Außerdem besteht kein Zusammenhang zwischen den physiologischen Messungen (aus der Minute vor dem TOR) und der Übernahmequalität. Ob Schlafen einen Einfluss auf die Übernahmequalität hat, konnte nicht valide untersucht werden, da die Stichprobe der schlafenden Probanden zu klein war.

Bezüglich der Auswertung des natürlichen Verhaltens kann zusammengefasst werden, dass sich die Art der fahrfremden Tätigkeit unmittelbar vor der Übernahmeaufforderung nicht auf die Übernahmequalität auswirkte. Darüber hinaus konnte kein Unterschied zwischen den Altersgruppen bei der Zeit bis zur Aufnahme der ersten Tätigkeit und bei Anzahl und Wechsel der Tätigkeiten festgestellt werden. Lediglich beim Beanspruchungslevel zeigte sich, dass sich ältere Probanden während der Versuchsfahrt länger mit Tätigkeiten aus Niveau 2 und jüngere Probanden aus Niveau 3 beschäftigt haben. Die Herzfrequenz sowie die Probandenbeobachtung lieferte außerdem bei Probanden der FFT-Gruppe einen Indikator, dass die Beschäftigung mit selbst gewählten Tätigkeiten zu einer konstanten Aktiviertheit führte.

## 5. Diskussion

### 5.1. Fahrerzustand und natürliche fahrfremde Tätigkeiten

In Vor- und Hauptversuch zeigt sich eine Veränderung des Fahrerzustands während der 60-minütigen hochautomatisierten Fahrt. Im Vorversuch deutet eine leicht verringerte Herzfrequenz in Minute 30 und weniger erkannte Events, sowie eine verringerte Anzahl und verlängerte Dauer der Blicke zur Fahrszene auf eine Verschlechterung des Fahrerzustands hinsichtlich Wachheit und Aufmerksamkeit hin. Ebenso verhält sich dies im Hauptversuch: bei Probanden ohne Möglichkeit zu FFT, also bei gleichen Bedingungen wie im Vorversuch, ist im Zeitraum von Minute 25 bis 35 eine verringerte Herzfrequenz wie zu Beginn der Versuchsfahrt zu beobachten, ebenso wie ein geringerer Blickzuwendungsanteil zur Fahrszene. Auch der PERCLOS-Wert deutet auf eine verringerte Wachheit in diesem Zeitraum hin. Auch kommt es in diesem Zeitraum zu häufigerem Sekunden- und Minutenschlaf. Der Parameter Blinzelhäufigkeit deutet jedoch im Gegensatz zu den bereits beschriebenen Indikatoren auf eine verringerte Müdigkeit hin. Dies liegt möglicherweise daran, dass einige Probanden in diesem Zeitraum schlafen. Dies hat eine geringere Blinzelhäufigkeit zur Folge und verfälscht dadurch die Statistik. In beiden Versuchen verbessert sich der Fahrerzustand im Folgenden wieder, sowohl hinsichtlich Aufmerksamkeit, als auch hinsichtlich Wachheit.

Im Hauptversuch konnte festgestellt werden, dass die Möglichkeit zu fahrfremden Tätigkeiten einen Einfluss auf den Fahrerzustand hat: Probanden mit FFT sind wacher (Videoauswertung), aber weniger aufmerksam (Blickzuwendungsanteil).

Diese Unterschiede wirken sich jedoch nur teilweise auf die Übernahmeleistung aus. Signifikante Unterschiede bestehen lediglich bei der Längsbeschleunigung: Probanden der FFT-Gruppe bremsen signifikant stärker. Es wird vermutet, dass diese Probanden aufgrund der ununterbrochenen Beschäftigung mit FFT über ein verringertes bis komplett fehlendes Situationsbewusstsein verfügten und sich durch eine starke Bremsung Zeit für die Erfassung der Situation und die Planung der nächsten Schritte verschaffen wollten. Die Ursache für den nicht vorhandenen Unterschied in den verbleibenden Übernahmeparametern kann darin liegen, dass die fahrfremden Tätigkeiten zwar die Aktiviertheit im Vergleich zur Hypovigilanzgruppe

verbessern, jedoch die Aufmerksamkeit verringern. Eine Verringerung der Aufmerksamkeit legen die Kennwerte Blickzuwendungsanteil zur Fahrszene nahe. So war aufgrund der hohen Aktiviertheit ein schnelles Eingreifen möglich, aber aufgrund des fehlenden Situationsbewusstseins eine stärkere Bremsung notwendig. Es ist auch denkbar, dass eine gewisse Überreaktion durch die Übernahmeaufforderung bei den Probanden ausgelöst wurde und dadurch ein schnelles Eingreifen gemessen wurde. Diese gegenläufigen Effekte, Verbesserung der Aktiviertheit einerseits, Verschlechterung der Aufmerksamkeit andererseits, scheinen sich in dieser Studie aufzuheben, sodass keine Unterschiede in den Übernahmeparametern TOT und TTC im Vergleich zur Hypovigilanzgruppe gefunden werden konnten. Die Frage, ob Hypovigilanz und Müdigkeit für das hochautomatisierte Fahren relevant sind, kann in diesem Projekt insofern bejaht werden, dass ca. die Hälfte der Probanden der Hypovigilanzgruppe während der 60-minütigen hochautomatisierten Fahrt eindeutige Anzeichen von Hypovigilanz und Müdigkeit zeigten. Diese tauchten aber nicht zu einem bestimmten Zeitpunkt während der Fahrt auf, sondern war von Person zu Person unterschiedlich. Tendenziell zeigte sich jedoch Müdigkeit vor allem in den ersten beiden Dritteln der 60-minütigen HAF-Fahrt, danach kam es teilweise zu einem gewissen „Erholungseffekt“. Dies bestätigt wiederum, dass bei der Vigilanzreduzierung bzw. Müdigkeitsentwicklung große individuelle und wahrscheinlich auch intra-individuelle, von der Tagesform abhängige Unterschiede bestehen. Da sich zum Zeitpunkt der Übernahme nur drei Probanden in einem erhöhten Müdigkeitslevel befanden, ist aufgrund dieser kleinen Stichprobengröße eine Beurteilung der Übernahmeleistung stark müder Probanden im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Es zeigt sich aber eine Tendenz zu langsameren Reaktionszeiten und kritischeren Übernahmen. Dies muss in Folgestudien gezielt untersucht werden.

Zudem deuten zwar Blinzelfrequenz und PERCLOS darauf hin, dass es gelungen ist, Hypovigilanz durch das Versuchsdesign gezielt herzustellen, jedoch ist die Blinzelfrequenz nicht valide genug und Hypovigilanz hierdurch zudem nicht klar von Müdigkeit unterscheidbar.

Aufgrund von technischen Problemen während der Datenerhebung konnte das Phänomen *Mind Wandering* in diesen Studien nicht beurteilt werden.

Weiter ist festzuhalten, dass das Angebot an FFT im Fahrsimulator, also bspw. Tablet, Zeitschriften, und eigene Gegenstände von den Probanden gut angenommen wurden. Dafür spricht die schnelle Aufnahme einer FFT (1 min 34 s), die wenige Zeit, welche ohne FFT verbracht wurde (3.4 min) und die Videoauswertung. Dies deutet darauf hin, dass die gezielte Herstellung „natürlicher“ Nutzungsbedingungen durch das verwendete Versuchsdesign geglückt ist. Die Probanden zeigten eine hohe Involviertheit (geringer Blickzuwendungsanteil zur Straße und wenige Kontrollblicke) sowie eine große Motivation für die Tätigkeiten und eine hohe Aktiviertheit (pausenloses Nutzen der Gegenstände, häufiger Wechsel zwischen den Tätigkeiten ohne Pausen). Jedoch konnten keine negativen Auswirkungen auf die Übernahmeleistung nachgewiesen werden. Um großen Aufwand aufgrund einer großen benötigten Probandenzahl zu vermeiden, ist es für bessere Kontrollierbarkeit der kognitiven Belastung in zukünftigen Studien denkbar, die freie Tätigkeitsauswahl auf eine vorselektierte Auswahl aus den beliebtesten Tätigkeiten zu beschränken. Die Ergebnisse dieses Projekts zeigten, dass abhängig vom Alter unterschiedliche Tätigkeiten gewählt wurden. Bei der Beschränkung von Beschäftigungsmöglichkeiten sollte dies berücksichtigt werden.

## **5.2. Methodische Aspekte**

### **Verwendeten Messtechnik**

Es stellte sich heraus, dass das System DIKABLIS Glasses Professional der Firma Ergoneers nicht für längere Fahrten geeignet ist, da es häufig zu einem Verrutschen des Brillengestells kommt, was zur Verfälschung der Messwerte führt. Darüber hinaus führt das lange Tragen bei den Probanden zu Druckstellen und Kopfschmerzen. Des Weiteren eignet sich DIKABLIS nicht zur Erfassung von Müdigkeit, da ein lidbasiertes Tracking fehlt. Dem gegenüber steht das im Hauptversuch verwendete Remote-System SmartEye Pro der Firma SmartEye. Für die Müdigkeitserfassung ist dieses System sehr gut geeignet, da es die Erfassung von lidbasierten Metriken ermöglicht. Einschränkend bei diesem System ist jedoch, dass bei der Blickzuwendung zu einer FFT oftmals keine validen Ergebnisse geliefert werden, da die Verfügbarkeit des Eyetracking aufgrund der Abwendung des Blicks von den Kameras leidet. Eine Nachbearbeitung der Blickdaten ist, im Gegensatz zum DIKABLIS-System, bei

SmartEye nicht möglich. Um das Müdigkeitslevel von Probanden während einer fahrfremden Tätigkeit valide zu evaluieren, wäre eine Verhaltensbeobachtung durch Analyse der Videoaufzeichnungen auf Müdigkeitsindikatoren hin denkbar. Diese Auswertungsmethodik ist jedoch äußerst zeitaufwendig.

Bezüglich der Messung der Herzfrequenz hat sich in diesem Projekt gezeigt, dass die Herzfrequenz nicht sensitiv genug war, um Veränderungen im Müdigkeitslevel zu erfassen. Jedoch sind aufgrund von technischen Problemen einige Datensätze verloren gegangen, was sich eventuell durch eine Störung der Messung durch die Elektronik im Fahrzeug oder durch die lange, unveränderte Sitzhaltung ergeben hat, worauf das System von Garmin nicht ausgelegt ist.

### **Fragebögen**

Die Ergebnisse des Vor- und Hauptversuchs haben außerdem gezeigt, dass ältere Probanden weniger abschweifende Gedanken berichteten. Dieses Ergebnis erscheint vor dem Hintergrund, dass ältere Probanden mehr Vertrauen in das System haben, als widersprüchlich. Diese könnte z. B. aus der Neigung älterer Personen entstehen, persönliche Dinge, wie die eigenen, privaten Gedanken, nicht unter Beobachtung berichten zu wollen. Dazu konnte jedoch in der Literatur keine Hinweise gefunden werden. Bei einer weiteren Verwendung des Fragebogens sollte ein möglicher Alterseffekt nicht ausgeschlossen werden.

Bezüglich der verwendeten Trust-in-Automation-Fragebögen ergab sich, dass der von Körber (2015) entwickelte Fragebogen aus dem Hauptversuch deutlich praktikabler ist als der im Vorversuch verwendete Fragebogen von Jian et al. (2000).

### **Einheitliches Vertrauensniveau**

In den beiden Versuchen hat sich gezeigt, dass die Herstellung eines einheitlichen Vertrauens in die Automation nicht im vollen Umfang geglückt war, so wie es der Fall war in der Studie von Feldhütter et al. (2016). Es wird vermutet, dass das mentale Modell vom hochautomatisierten Fahren nicht bei allen Probanden gleichermaßen durch ein einzelnes Video formbar bzw. veränderbar ist, insbesondere wenn bereits Vorwissen und Erfahrung vorhanden sind. Sollte ein einheitliches Vertrauensniveau das Ziel einer Studie sein, wird empfohlen, die Probanden nach Vorwissen vorzuselektieren. Grundsätzlich wurde aber festgestellt, dass ein informatives Video

zu Funktionsweise und -umfang des automatisierten Systems gut geeignet ist, um die Probanden für den Versuch zu instruieren.

### **Versuchsdesign**

Um den Einfluss des Fahrerzustands auf die Übernahmeleistung zukünftig besser erforschen zu können, scheint ein Auslösen der Übernahmesituation in Abhängigkeit des Fahrerzustands sinnvoll. Dies berücksichtigt individuelle Effekte beim Anpassungsverhalten stärker und lässt somit eine Erforschung des Einflusses bestimmter Fahrerzustandskomponenten auf die Übernahme zuverlässiger zu. Für zukünftige Studien wird außerdem empfohlen eine Referenzgruppe für den jeweils zu untersuchenden Fahrerzustand zu testen. Dadurch kann vermieden, dass es zu dem in diesem Projekt beschriebenen potenziellen Aufhebungseffekt kommt.

## **6. Wizard-of-Oz-Expertenworkshop**

Wie bei jedem Fahrsimulatorversuch stellt sich auch bei den in diesem Projekt im Vordergrund stehenden Fragestellungen die Frage nach der Übertragbarkeit in den realen Straßenverkehr. Gerade die Aufnahme von Tätigkeiten könnte hier abweichende Ergebnisse liefern. Aus diesem Grund wäre es sinnvoll die in diesem Projekt entwickelte Methodik mit leichten Modifikationen ebenfalls im Realverkehr durchzuführen. Aufgrund der zeitlichen Begrenzung des Projekts konnte keine umfangreiche Probandenstudie im Realverkehr durchgeführt werden. Um jedoch eine erste Einschätzung zur Übertragbarkeit der Methodik zur gezielten Herstellung „natürlicher“ Nutzungsbedingungen geben zu können, wurde ein Expertenworkshop mit einem Wizard-of-Oz-Fahrzeug im realen Straßenverkehr durchgeführt. Vier Experten aus dem FAT-Kreis nahmen an dem Workshop teil.

### **6.1. Ziel des Workshops**

Ziel des eintägigen Expertenworkshops war es, die Übertragbarkeit und Anwendbarkeit der im Fahrsimulator konzipierten Methodik zur gezielten Herstellung „natürlicher“ Nutzungsbedingungen auf den realen Straßenverkehr zu testen. Mit dem Workshop sollten folgende Fragestellungen adressiert werden:

- Gibt es Einschränkungen bei der Versuchsdurchführung und bei der verwendeten Technik?
- Inwieweit muss das Versuchsdesign angepasst werden/worauf muss geachtet werden, um eine funktionierende, realistische Methodik auch im Realfahrzeug/Realverkehr zu gewährleisten?
- Zeigt sich ähnliches Probandenverhalten im Fahrsimulator und Realfahrzeug?
- Was muss hinsichtlich der Übertragbarkeit von Ergebnissen vom Fahrsimulator in den Realverkehr beachtet werden?

## **6.2. Wizard-of-Oz-Fahrzeug**

Für die Durchführung des Workshops stellte die Robert Bosch GmbH ihr Wizard-of-Oz-Fahrzeug zur Verfügung. Bei einem Wizard-of-Oz-Experiment nimmt der Proband an, mit einem echten automatisierten System zu interagieren. In Wirklichkeit steuert aber der Versuchsleiter das System. Bei dem Bosch-Fahrzeug sitzt der Proband auf dem Fahrersitz und der „Wizardfahrer“ auf dem Beifahrersitz. Nach Aktivierung der hochautomatisierten Fahrfunktion übernimmt der „Wizardfahrer“ die Fahrzeugkontrolle, indem er mit einem Bedienelement in der Beifahrertür die Querverführung und mit Pedalerie im Fußraum die Längsverführung kontrolliert.

Wie im Fahrsimulatorversuch wurde das Fahrzeug mit verschiedenen FFT ausgestattet. In der Mittelkonsole wurde ein Tablet montiert, das über verschiedene Spiele, Podcasts, Videos, Hörbücher und einen Internetzugang verfügte. Darüber hinaus standen verschiedene Zeitschriften und Zeitungen zur Verfügung. Die Workshopteilnehmer wurden außerdem aufgefordert, eigene Gegenstände zur Beschäftigung mitzubringen. Harte, schwere Gegenstände (wie z. B. Laptops) wurden jedoch aus Sicherheitsgründen für die Fahrt nicht zugelassen.

Um die hochautomatisierte Fahrfunktion zu aktivieren, betätigte der Fahrer ein Bedienelement am Lenkrad für einen definierten Zeitraum. Die erfolgreiche Aktivierung der HAF-Funktion wurde durch ein akustisches Signal und eine Sprachausgabe sowie durch eine Änderung von Farbe und Symbolik im Kombi-Display signalisiert. Bei einer Übernahme wurde der Fahrer durch ein akustisches und visuelles (im Kombi-Display) Signal sowie eine Sprachausgabe dazu aufgefordert, die hochautomatisierte Fahrfunktion zu deaktivieren und die

Fahrzeugkontrolle wieder zu übernehmen. Das Deaktivieren erfolgte durch den Fahrer, wenn dieser bereit war, wieder durch Betätigen des Bedienelements am Lenkrad für einen definierten Zeitraum und wurde zusätzlich durch Farbe und Symbolik dargestellt.

Im Vergleich zum Fahrsimulatorversuch fällt das HMI-Konzept im Realfahrzeug deutlich salienter aus, was gegebenenfalls einen Einfluss auf die Mode Awareness haben könnte. Die Mensch-Maschine-Interaktion im Realfahrzeug unterschied sich außerdem dadurch zum Fahrsimulator, dass ab dem Zeitpunkt der Aktivierung der HAF-Funktion eine Übersteuerung des Systems durch das Lenkrad nur noch mit einer erheblichen Kraftaufbringung möglich war und die HAF-Funktion durch das Übersteuern nicht deaktiviert wurde.



Abbildung 6-1: Innenraum des Wizard-of-Oz-Fahrzeugs mit vor dem CID montierten Tablet.

### 6.3. Versuchsfahrten

Die vier teilnehmenden Experten wurden auf jeweils zwei Fahrten am Vor- und Nachmittag aufgeteilt. Die Experten wurden vor der Versuchsfahrt darüber informiert, dass ab der Aktivierung des „HAF-Systems“ der „Wizard-Fahrer“ die Fahraufgabe übernimmt. Wie im Fahrsimulatorversuch betrug die Fahrzeit mit der hochautomatisierten Fahrfunktion pro Experte 60 min. Um die Fahrten an einem Tag

durchführen zu können, fuhren immer zwei Experten im Fahrzeug mit, aufgeteilt auf Fahrersitz und Rückbank, sodass nach 60 min Fahrzeit getauscht werden konnte. Für die Vor- und Nachmittagsfahrten wurden zwei verschiedene „Wizard-Fahrer“ eingesetzt.

Die vier Fahrten fanden im Großraum von Renningen statt (siehe Abbildung 6-2). Aufgrund der Verkehrslage konnte für die ersten beiden Versuchsfahrten nicht dieselbe Strecke hin und zurück gefahren werden, daher wurde auf eine andere Strecke ausgewichen (siehe Abbildung 6-2, links).

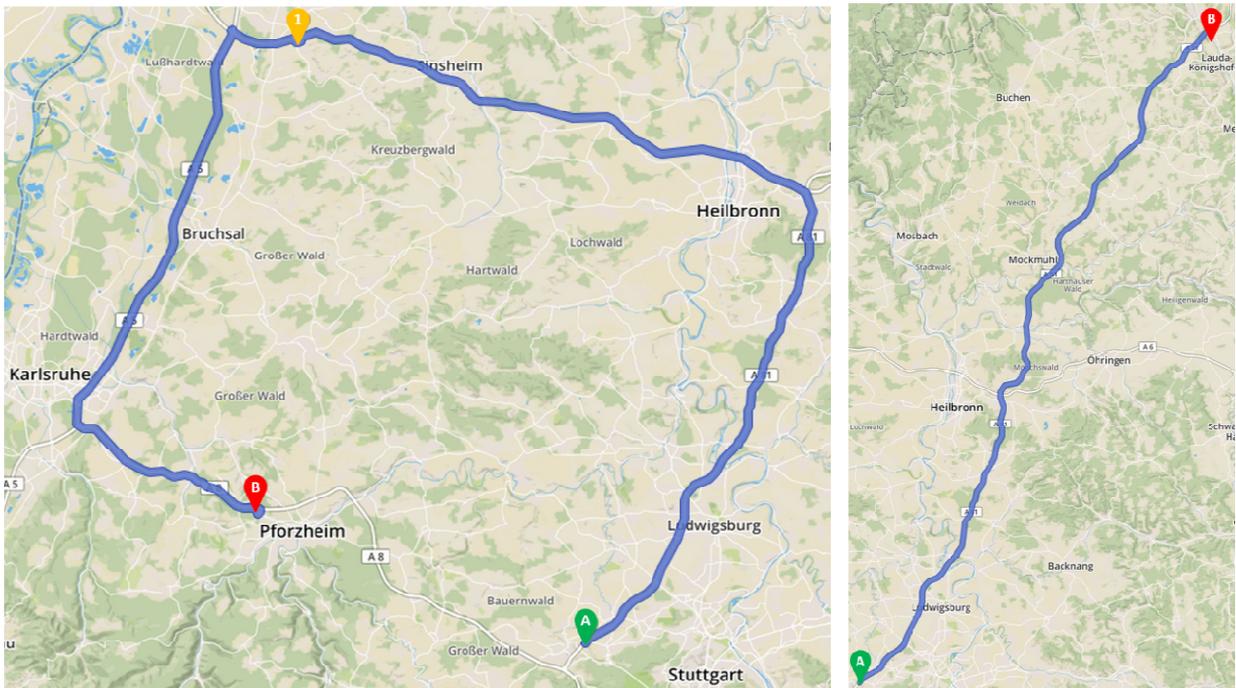


Abbildung 6-2: Die Versuchsfahrten (Quelle: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA). Links: Versuchsfahrt 1 und 2, Startpunkt A, Probandenwechsel (1) und Endpunkt B; Rechts: Versuchsfahrt 2 und 3, Hin- und Rückfahrt auf derselben Strecke.

Nach 60 min hochautomatisierten Fahren wurde bei allen vier Fahrten eine Übernahmeaufforderung ausgelöst. Anders als im Fahrsimulatorversuch gab es für die Übernahmeaufforderung keinen für den Fahrer offensichtlichen Grund und kein begrenztes Zeitbudget, innerhalb dessen der Fahrer die Kontrolle übernehmen und eine Situation bewältigen musste. Nach der Deaktivierung des Systems musste der Fahrer das Fahrzeug lediglich im Fahrstreifen stabilisieren.

Durch eine Nachbefragung und eine abschließende Diskussionsrunde wurden die Erkenntnisse der Experten zur Methodik zusammengetragen und dokumentiert.

## **6.4. Ergebnisse des Workshops**

### **6.4.1. Wichtigsten Erkenntnisse der Befragung**

Bezüglich der angebotenen fahrfremden Tätigkeiten waren sich alle Experten einig, dass die Auswahl vielseitig, kurzweilig und unterhaltsam war. Außerdem wurde angemerkt, dass durch die freie Wahl der Tätigkeit der richtige Grad an Involviertheit erreicht wurde, die Tätigkeiten aber trotzdem unterbrechbar waren, falls dies notwendig oder gewünscht war.

Als Einschränkung bei den gewählten Tätigkeiten wurde genannt, dass eine dauerhafte Bedienung des Tablets in der Mittelkonsole als anstrengend oder unkomfortabel empfunden wurde. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn in dieser Position arbeitsbezogene Tätigkeiten angeboten werden sollen. Darüber hinaus wurde bemängelt, dass keine Ablagemöglichkeiten für mitgebrachte oder bereitgestellte Gegenstände vorhanden waren. Die Experten erwähnten außerdem, dass zusätzlich zu den Freizeitbeschäftigungen auch arbeitsbezogene Tätigkeiten angeboten werden sollten, da dies ein noch realistischeres Szenario darstelle.

### **6.4.2. Wichtigsten Punkte aus der Beobachtung**

Allgemein konnte festgestellt werden, dass die Probanden das „HAF-System“ sehr gut annahmen, da sie sich mit Ausnahme eines Probanden sofort und intensiv mit den FFT beschäftigten. Ein Proband beobachtete ca. 10 min nach Aktivierung der HAF-Funktion zunächst das Verkehrsgeschehen und die Funktionsweise des Systems. Anschließend ging auch er beinahe ohne Unterbrechung FFT nach.

Wie auch im Simulatorversuch waren die am häufigsten gewählten Tätigkeiten die Beschäftigung mit dem Tablet, dem eigenen Smartphone und mit Lesen. Auch bei den Experten fiel im Vergleich mit den Probanden aus dem Fahrsimulator auf, dass sie häufig zwischen Tätigkeiten wechselten und auch mehreren Tätigkeiten gleichzeitig/parallel nachgingen (z. B. Radio und Tablet/Smartphone/Zeitung). Dennoch blieben bei einigen Experte häufige Kontrollblicke, was sich zum Simulatorversuch unterscheiden könnte. Dies ist jedoch nur eine Vermutung aufgrund der Beobachtungen des Versuchsleiters und wurde nicht quantitativ untersucht.

### **6.4.3. Vergleichbarkeit der Methodik im Fahrsimulator und Realfahrzeug**

Allgemein wurde festgestellt, dass die Methodik zur Herstellung natürlicher Nutzungsbedingungen hinsichtlich des Angebots der FFT sehr gut im Realfahrzeug angewendet werden kann und für das Testen von natürlichem Verhalten auch im realen Fahrzeug/Straßenverkehr gut geeignet ist. Lediglich aufgrund von Sicherheitsbestimmungen muss – wahrscheinlich auch in Zukunft in automatisierten Fahrzeugen – auf bestimmte Gegenstände verzichtet werden. Darüber hinaus fehlt bei dieser Wizard-of-Oz-Umsetzung, bei der der „Wizard-Fahrer“ auf dem Beifahrersitz sitzt und somit dieser nicht als Ablagemöglichkeit verwendet werden kann, so wie es beim Fahrsimulator der Fall war, die Möglichkeit die verschiedenen Gegenstände abzulegen und zu verstauen. Von einem Experten wurde angemerkt, dass eine Dauer von 60 min hochautomatisierten Fahrens im realen Straßenautobahnverkehr für die nahe Zukunft als unrealistisch empfunden wurde, besonders aufgrund der zahlreichen Wanderbaustellen, Autobahnkreuze, Fahrstreifenverengungen, fehlenden Fahrbahnmarkierungen etc. Hier ist es bei zukünftigen Studien wichtig den Probanden vor dem Versuch ausreichend klarzumachen, über welche Fähigkeiten die HAF-Funktion verfügt und welche Situation nicht bewältigt werden können und als Systemgrenze gelten.

Die qualitative Auswertung der Expertenbefragungen und der Beobachtung ergab ein ähnliches Verhalten der Probanden hinsichtlich der Verwendung der FFT (häufiger Wechsel zwischen den Tätigkeiten/parallele Beschäftigung mit mehreren Tätigkeiten). Dies muss jedoch in einem größer angelegten Experiment verifiziert werden.

### **6.4.4. Allgemeine methodische Aspekte**

Allgemein ist anzumerken, dass aus Sicherheitsgründen das Testen von Übernahmeverhalten bei hochautomatisierten Systemen im realen Verkehr nicht auf die gleiche Weise möglich ist wie im Fahrsimulator. Übernahmen im realen Verkehr müssen in jedem Fall kontrollierbar sein und können daher nicht mit derselben Dringlichkeit und Kritikalität wie im Fahrsimulator erfolgen. Da es auf die Frage nach dem benötigten Zeitbudget bisher noch keine belastbare Antwort gibt, ist eine Übergabe ohne Zeitbudget, bei der der Fahrer selbst bestimmen kann, wann er bereit ist die Fahraufgabe wieder zu übernehmen, ein sinnvolles Konzept.

Darüber hinaus ist klar, dass die Variation bestimmter Parameter, wie z. B. die Umgebungsfaktoren während der Fahrt (Verkehrsdichte, Baustellen, Staus) und während der Übernahme (Streckenabschnitt, Verkehrsdichte, Fahrstreifen, Übernahmegrund etc.) im realen Verkehr nur bedingt oder gar nicht kontrollierbar ist.

Auch unterschiedliche Fahrweisen hervorgerufen durch verschiedene „Wizard-Fahrer“ kann einen ungewollten Einfluss auf das Vertrauen und die Akzeptanz der Probanden haben. Besonders die Dynamik der Fahrweise (starkes beschleunigen/verzögern, dynamische Fahrstreifenwechsel), aber auch eine menschliche Fahrweise kann eine ungewollte Variation des Probandenverhaltens, z. B. bei der Beschäftigung mit der FFT, verursachen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein Wizard-of-Oz-Fahrzeugkonzept gut geeignet ist, um ein „HAF-Gefühl“ bei den Probanden zu erzeugen und somit Fragestellungen zu adressieren, die sich mit Vertrauen und Akzeptanz (z.B. zur Auslegung/Beurteilung von Dynamik, Innenraumgestaltung), verschiedenen Systemvarianten (z.B. ABK/HMI oder Dynamiken), Kundenwert/Kundenerlebnis und dem Umgang/Verhalten mit fahrfremden Tätigkeiten auseinandersetzen.

Auf der anderen Seite ist ein Wizard-of-Oz-Konzept weniger geeignet zur Ableitung von Systemgrenzwerten und für die exakte Parametrierung der HAF-Funktion hinsichtlich Controllability.

Für zukünftige Versuche empfiehlt es sich gewisse Standards für die Durchführung von Wizard-of-Oz-Versuchen hinsichtlich Fahrweise, Strecken, Versuchsdauern, Mindestanforderungen an zu erhebende Daten, etc. festzulegen.

## **7. Zusammenfassung**

Die Schwerpunkte dieses Projekts lagen in der Untersuchung der Fahrer Verfügbarkeit und Müdigkeit bei längeren hochautomatisierten Fahrten und der Implementierung natürlicher fahrfremder Tätigkeiten.

Es konnte gezeigt werden, dass bei hochautomatisierten Fahrten von 60 Minuten Müdigkeit auftreten kann, Ausprägung und Zeitpunkt des Auftretens jedoch von der

Einzelperson abhängig sind. Daher kann die Auswirkung von Müdigkeit auf die Verfügbarkeit des Fahrers für eine Übernahme nicht abschließend beurteilt werden. Hierfür empfehlen sich für die Zukunft Studien mit einem zustandsabhängigen Versuchsdesign.

Der Einsatz von natürlichen fahrfremden Tätigkeiten zeigte sowohl in der Probandstudie im Fahrsimulator als auch beim Expertenworkshop im Realfahrzeug eine hohe Involviertheit der Probanden in die Tätigkeiten während der gesamten 60 Minuten hochautomatisierten Fahrens aufgrund der intrinsischen Motivation und dem hohen Unterhaltungswert der selbstgewählten Aktivitäten. Es zeigte sich außerdem, dass die Wahl der Tätigkeit vom Alter der Probanden abhängig ist. Eine Fahrdauer von 60 Minuten wurde als realistisches Zukunftsszenario eingestuft und besitzt daher eine hohe Relevanz. Sowohl für die Bewertung von Müdigkeit als auch von Ablenkung war das Blickverhalten am meisten aufschlussreich. Für die Bewertung von Müdigkeit während der Beschäftigung mit fahrfremden Tätigkeiten wird jedoch ein kopfbasiertes Blickerfassungssystem empfohlen, welches in der Lage ist, den Augenöffnungsgrad zu erfassen.

## 8. Literaturverzeichnis

AutoScout24 GmbH (Hrsg.). (2011). *Unser Auto von morgen 2011. Studie zu den Wünschen der Deutschen an das Auto von morgen.*

Bergasa, L. M., Nuevo, J., Sotelo, M. A., Barea, R. & Lopez, M. E. (2006). Real-Time System for Monitoring Driver Vigilance. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 7 (1), 63-77.

Bühner, M. & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (ps Psychologie, [Nachdr.]. München [u.a.]: Pearson.

Carsten, O., Lai, F. C. H., Barnard, Y., Jamson, A. H. & Merat, N. (2012). Control Task Substitution in Semiautomated Driving. Does It Matter What Aspects Are Automated? *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54 (5), 747-761.

- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, NJ, 20-26.
- Cohen, R. A. (2011). Yerkes–Dodson Law. In *Encyclopedia of clinical neuropsychology* (S. 2737-2738). Springer.
- Damböck, D. (2013, 30. April). *Automationseffekte im Fahrzeug – von der Reaktion zur Übernahme*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- Damböck, D., Farid, M., Tönert, L. & Bengler, K. (2012). Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren. 5. *Tagung Fahrerassistenz*. Verfügbar unter <http://mediatum.ub.tum.de/doc/1142102/file.pdf>
- Engström, J., Monk, C., Hanowski, R. J., Horrey, W. J., Lee, J. D., McGehee, D. V. et al. (2013). *A conceptual framework and taxonomy for understanding and categorizing driver inattention*. : US-EU Driver Distraction and HMI Working Group.
- Feldhütter, A., Gold, C., Hüger, A. & Bengler, K. (2016). Trust in Automation as a Matter of Media Influence and Experience of Automated Vehicles. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 60* (1), 2024-2028.
- Feldhütter, A., Gold, C., Schneider, S. & Bengler, K. (2016). How the Duration of Automated Driving Influences Take-Over Performance and Gaze Behavior. In C. Schlick, S. Duckwitz, F. Flemisch, M. Frenz, S. Kuz, A. Mertens et al. (Hrsg.), *Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes. Proceedings of the Annual Meeting of GfA 2016* (1st ed. 2017, S. 309-318). Berlin: Springer.
- Gold, C. & Bengler, K. (2014). Taking Over Control from Highly Automated Vehicles. In N. Stanton (Hrsg.), *Advances in human aspects of transportation, Part II* (Advances in human factors and ergonomics 2014, Bd. 8, S. 64-69). Louisville, KY: AHFE Conference.
- Gold, C., Berisha, I. & Bengler, K. (2015). Utilization of Drivetime - Performing Non-Driving Related Tasks While Driving Highly Automated. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 59* (1), 1666-1670.
- Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L. & Bengler, K. (2013). "Take over!". How long does it take to get the driver back into the loop? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 57* (1), 1938-1942.

- Gold, C., Körber, M., Hohenberger, C., Lechner, D. & Bengler, K. (2015). Trust in Automation – Before and After the Experience of Take-over Scenarios in a Highly Automated Vehicle. *Procedia Manufacturing*, 3, 3025-3032.
- Hanowski, R. J., Bowman, D., Alden, A., Wierwille, W. W. & Carroll, R. (OCT. 07, 2008). *PERCLOS+: Moving Beyond Single-Metric Drowsiness Monitors*. Vortrag anlässlich Commercial Vehicle Engineering Congress & Exhibition.
- Hargutt, V. (2003). *Das Lidschlussverhalten als Indikator für Aufmerksamkeits- und Müdigkeitsprozesse bei Arbeitshandlungen*. Dissertation, Julius-Maximilians-Universität Würzburg. Verfügbar unter [http://www.psychologie.uni-wuerzburg.de/izvw/texte/2003\\_hargutt\\_Das\\_Lidschlussverhalten.pdf](http://www.psychologie.uni-wuerzburg.de/izvw/texte/2003_hargutt_Das_Lidschlussverhalten.pdf)
- Hartley, L. (2000). *Review of fatigue detection and prediction technologies*. Melbourne: National Road Transport Commission.
- He, J., Becic, E., Lee, Y.-C. & McCarley, J. S. (2011). Mind Wandering Behind the Wheel. Performance and Oculomotor Correlates. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53 (1), 13-21.
- Hecht, T. (2014). *Nutzererwartungen an das automatisierte Fahren*. Bachelorarbeit, TU München. München.
- Helton, W. S. & Warm, J. S. (2008). Signal salience and the mindlessness theory of vigilance. *Acta psychologica*, 129 (1), 18-25.
- Jamson, A., Merat, N., Carsten, O. M. & Lai, F. (2013). Behavioural changes in drivers experiencing highly-automated vehicle control in varying traffic conditions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 30, 116-125. Verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X13000387>
- Jian, J.-Y., Bisantz, A. M. & Drury, C. G. (2000). Foundations for an Empirically Determined Scale of Trust in Automated Systems. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 4 (1), 53-71.
- Johns, M. W. (1991). A New Method for Measuring Daytime Sleepiness. The Epworth Sleepiness Scale. *Sleep*, 14 (6), 540-545.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort* (Prentice Hall series in experimental psychology). Englewood Cliffs: Prentice Hall.

- Knipling, R. & Wierwille, W. (1994). Vehicle-based drowsy driver detection. Current status and future prospects. *Paper presented at the IVHS America Fourth Annual Meeting (17. - 20. April)*.
- Körber, M. (2015). *Vertrauen in Automation*. Fragebogen. Zugriff am 21.09.2017. Verfügbar unter [https://github.com/moritzkoerber/TiA\\_Trust\\_in\\_Automation\\_Questionnaire](https://github.com/moritzkoerber/TiA_Trust_in_Automation_Questionnaire)
- 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.
- Lehrstuhl für Ergonomie, TU München. (2016). *Statischer Fahrsimulator*, Lehrstuhl für Ergonomie, TU München. Zugriff am 11.11.2016. Verfügbar unter <http://www.lfe.mw.tum.de/forschung/methoden-und-laboreinrichtungen/statischer-fahrsimulator/>
- Llaneras, R. E., Salinger, J. A. & Green, C. A. (2013). Human factors issues associated with limited ability autonomous driving systems: Drivers' allocation of visual attention to the forward roadway. *Proceedings of the Seventh International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*.
- Mackworth, N. H. (2008). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1 (1), 6-21.
- Malta, L., Aust, M. L., Faber, F., Metz, B., Saint Pierre, G., Benmimoun, M. et al. (2012). *European Large-Scale Field Operational Tests on In-Vehicle Systems. Final results: Impacts on traffic safety*. Deliverable 6.4. Aachen: euroFOT consortium.
- 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.

- Merat, N., Jamson, A. H., Lai, F. C. H. & Carsten, O. (2012). Highly Automated Driving, Secondary Task Performance, and Driver State. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54 (5), 762-771.
- Neubauer, C., Matthews, G. & Saxby, D. (2012). The Effects of Cell Phone Use and Automation on Driver Performance and Subjective State in Simulated Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56 (1), 1987-1991.
- Neubauer, C., Matthews, G. & Saxby, D. (2014). Fatigue in the Automated Vehicle. Do Games and Conversation Distract or Energize the Driver? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58 (1), 2053-2057.
- Neubauer, C., Matthews, G., Saxby, D. & Langheim, L. (2011). Individual Differences and Automation Choice in Simulated Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 55 (1), 1563-1567.
- Omae, M., Fujioka, T., Hashimoto, N. & Shimizu, H. (2006). The Application of RTK-GPS and Steer-by-wire Technology to the Automatic Driving of Vehicles and an Evaluation of Driver Behavior. *IATSS Research*, 30 (2), 29-38.
- Pawlik, K. (Hrsg.). (2006). *Handbuch Psychologie. Wissenschaft, Anwendung, Berufsfelder ; mit 46 Tabellen*. Heidelberg: Springer. Verfügbar unter <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0826/2006436319-d.html>
- Petermann-Stock, I., Hackenberg, L., Muhr, T. & Mergl, C. (2013). Wie lange braucht der Fahrer? Eine Analyse zu Übernahmezeiten aus verschiedenen Nebentätigkeiten während einer hochautomatisierten Staufahrt. *6. Tagung Fahrerassistenzsysteme. Der Weg zum automatischen Fahren*.
- Radlmayr, J. (2015). Literaturanalyse und Methodenauswahl zur Gestaltung von Systemen zum hochautomatisierten Fahren. *FAT Schriftenreihe* (276).
- Radlmayr, J., Gold, C., Lorenz, L., Farid, M. & Bengler, K. (2014). How Traffic Situations and Non-Driving Related Tasks Affect the Take-Over Quality in Highly Automated Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58 (1), 2063-2067.

- Ratwani, R. M., McCurry, J. M. & Trafton, J. G. (2010). Single operator, multiple robots: An eye movement based theoretic model of operator situation awareness. *5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, 235-242.
- Rauch, N., Kaussner, A., Boverie, S. & Giralt, A. (2009, 30. April). *HAVEit -Highly automated vehicles for intelligent transport. Model of driver behaviour for the assessment of driver's state*. Deliverable D32.1 Report on driver assessment methodology. Zugriff am 12.11.15. Verfügbar unter [http://haveit-eu.org/LH2Uploads/ItemsContent/24/HAVEIt\\_212154\\_D32.1\\_public\\_version.pdf](http://haveit-eu.org/LH2Uploads/ItemsContent/24/HAVEIt_212154_D32.1_public_version.pdf)
- ISO, 15007-1 (2014). *Road vehicles - Measurement of driver visual behaviour with respect to transport information and control systems - Part 1: Definitions and parameters*.
- Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T. & Yiend, J. (1997). 'Oops! ': Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*, 35 (6), 747-758.
- Rosario, H. de, Solaz, J. S., Rodríguez, N. & Bergasa, L. M. (2010). Controlled inducement and measurement of drowsiness in a driving simulator. *IET Intelligent Transport Systems*, 4 (4), 280.
- Rothkirch, I. M. (2013). *Evaluation of the driver mode with eye tracking in a highly automated lane-changing situation*. Bachelor Thesis, Technische Universität München. München.
- Russell, M., Price, R., Signal, L. & Stanley, J. (2011). What do passengers do during travel time? Structured observations on buses and trains. *Journal of public transportation*.
- Saxby, D. J., Matthews, G., Warm, J. S., Hitchcock, E. M. & Neubauer, C. (2013). Active and passive fatigue in simulated driving: discriminating styles of workload regulation and their safety impacts. *Journal of experimental psychology. Applied*, 19 (4), 287-300.
- Schleicher, R., Galley, N., Briest, S. & Galley, L. (2008). Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: looking tired? *Ergonomics*, 51 (7), 982-1010.

- Schmidt, E. A., Schrauf, M., Simon, M., Fritzsche, M., Buchner, A. & Kincses, W. E. (2009). Drivers' misjudgement of vigilance state during prolonged monotonous daytime driving. *Accident; analysis and prevention*, 41 (5), 1087-1093.
- 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. 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE (2015).
- Sommer, K. (2013). *Continental Mobilitätsstudie 2013*. : Continental AG.
- Susilo, Y., Lyons, G., Jain, J. & Atkins, S. (2013). *Great Britain Rail Passengers' Time Use and Journey Satisfaction. 2010 findings with multivariate analysis* (Centre for Transport Studies, Hrsg.).
- Thalys. (2013). *Umfrage im Auftrag von Thalys: Wie reisen Europäer? Studie unter europäischen Reisenden zeigt länderspezifische Unterschiede und Gemeinsamkeiten im Reiseverhalten*. Köln.
- Underwood, G. (2007). Visual attention and the transition from novice to advanced driver. *Ergonomics*, 50 (8), 1235-1249.
- Van Loon, R. J., Brouwer, R. F. T. & Martens, M. H. (2015). Drowsy drivers' under-performance in lateral control: How much is too much? Using an integrated measure of lateral control to quantify safe lateral driving. *Accident; analysis and prevention*, 84, 134-143.
- Waard, D. de. (1996). *The measurement of drivers' mental workload*: Groningen University, Traffic Research Center Netherlands.
- Wierwille, W., Ellsworth, L., Wreggit, S., Fairbanks, R. & Kirn, C. (1994). *Research on Vehicle-Based DriverStatus/Performance Monitoring. Development, Validation, and Refinement of Algorithms for Detection of Driver Drowsiness*. DOT HS 808 247. : HighwayTraffic Safety Administration.
- Wu, G., Liu, Z., Pan, X., Chen, F., Xu, M., Feng, D. et al. (2017). Fatigue Driving Influence Research and Assessment. In N. A. Stanton, S. Landry, G. Di Bucchianico & A. Vallicelli (Eds.), *Advances in Human Aspects of Transportation*.

*Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Human Factors in Transportation, July 27-31, 2016, Walt Disney World®, Florida, USA* (Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 484, pp. 677-688). Cham: Springer International Publishing.

Zeeb, K., Buchner, A. & Schrauf, M. (2015). What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving. *Accident; analysis and prevention*, 78, 212-221.

## Anhang

### A.1: Abkürzungen, Formelzeichen und Indizes

ACC	Adaptive Cruise Control
ANOVA	Analysis of Variance
AOI	Area of Interest
DSSQ	Dundee Stress State Questionnaire
EEG	Elektroenzephalografie
EoR	Eyes-on-Road Zeit
ESS	Epworth Sleepiness Scale
F	statistische Prüfgröße (F-Statistik)
FFT	Fahrfremde Tätigkeit(en)
HAF	Hochautomatisiertes Fahren
HFS	High Frequency Control of Steering
KSS	Karolinska Sleepiness Scale
M	Mittelwert
n	Anzahl Probanden
N0–N4	Beanspruchungsniveau 0–4

p	Signifikanzniveau (Grenzwert: $p < .05$ )
PERCLOS	Percentage of Eye Closure
r	Korrelationskoeffizient
SD	Standardabweichung
SDLP	Standard Deviation of Lane Position
t	statistische Prüfgröße (t-Statistik)
TOT	Take-over Time (Übernahmezeit)
TOR	Take-over Request (Übernahmeaufforderung)
TTC	Time-to-Collision
VP	Versuchsperson
$\eta^2$	Partielles Eta-Quadrat (Effektstärke)

## A.2: Trust-Fragebogen (Hauptversuch)

Fragebogen „Vertrauen in Automation“ von Moritz Körber, Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München; E-Mail: moritz.koerber@tum.de

Online verfügbar unter:

[https://github.com/moritzkoerber/TiA\\_Trust\\_in\\_Automation\\_Questionnaire](https://github.com/moritzkoerber/TiA_Trust_in_Automation_Questionnaire)

		Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme weder zu noch nicht zu	Stimme eher zu	Stimme voll zu	keine An- gabe
1	Das System ist in ständ. Situationen richtig einzuschätzen.	①	②	③	④	⑤	○
2	Mir war durchgehend klar, in welchem Zustand sich das System befindet.	①	②	③	④	⑤	○
3	Ich kenne bereits ähnliche Systeme.	①	②	③	④	⑤	○
4	Die Entwickler sind vertrauenswürdig.	①	②	③	④	⑤	○
5	Bei unbekannt. automatisierten Systemen sollte man eher vorsichtig sein.	①	②	③	④	⑤	○
6	Das System arbeitet zuverlässig.	①	②	③	④	⑤	○
7	Das System reagiert unvorhersehbar.	①	②	③	④	⑤	○
8	Die Entwickler nehmen mein Wohlergehen ernst.	①	②	③	④	⑤	○
9	Ich vertraue dem System.	①	②	③	④	⑤	○
10	Ein Ausfall des Systems ist wahrscheinlich.	①	②	③	④	⑤	○
11	Ich konnte nachvollziehen, warum etwas passiert ist.	①	②	③	④	⑤	○
12	Ich vertraue einem System eher, als dass ich ihm misstraue.	①	②	③	④	⑤	○
13	Das System kann wirklich komplizierte Aufgaben übernehmen.	①	②	③	④	⑤	○
14	Ich kann mich auf das System verlassen.	①	②	③	④	⑤	○
15	Das System könnte stellenweise einen Fehler machen.	①	②	③	④	⑤	○
16	Zu erkennen, was das System als Nächstes macht, ist schwer.	①	②	③	④	⑤	○
17	Ich habe ähnliche Systeme bereits genutzt.	①	②	③	④	⑤	○
18	Automatisierte Systeme funktionieren generell gut.	①	②	③	④	⑤	○
19	Ich bin überzeugt von den Fähigkeiten des Systems.	①	②	③	④	⑤	○

### A.3: Instruktion (Hauptversuch)

#### Hochautomatisiertes Fahren – Fahrsimulation

Herzlich Willkommen am Fahrsimulator des Lehrstuhls für Ergonomie.

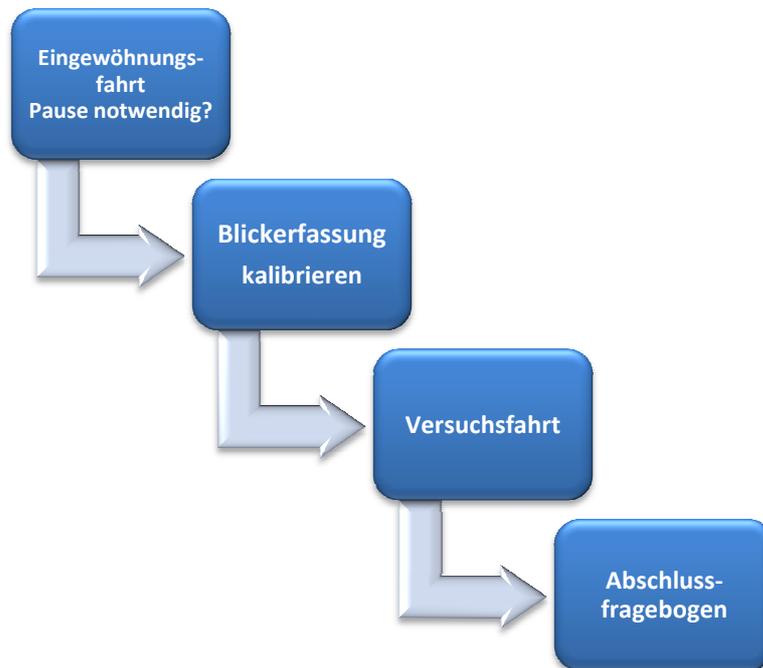
Sie haben sich bereit erklärt, heute als Versuchsperson an einer Studie teilzunehmen. Wir möchten Ihnen für Ihre Bereitschaft herzlich danken!

Bitte nehmen Sie sich Zeit, die folgenden Hinweise zu lesen, um etwas über den Versuch und dessen Ablauf zu erfahren.

#### Brustgurt

Zur Aufzeichnung ihrer Herzfrequenz bitten wir Sie einen Brustgurt umzulegen. Dieser sollte fest unterhalb der Brust auf der Haut sitzen, aber nicht einschnüren oder Sie beim Atmen stören. Sie können den Gurt entweder vor Ort oder auf der Toilette anlegen.

#### Zum Ablauf



#### Eye-Tracking-System

Um während des Versuchs Ihre Augenbewegungen aufzeichnen zu können, kommt das Eye-Tracking-System SmartEye zum Einsatz. Um das System richtig zu

kalibrieren, folgen Sie bitte den Anweisungen des Versuchsleiters. Sie sollen Ihren Kopf während der Fahrt ganz natürlich hin und her bewegen.

### **Automation (für Hypovigilanzgruppe)**

Im Unterschied zu dem im Video gezeigten System besitzt das System hier im Fahrsimulator kein zusätzliches Display, auf dem Sie die Umgebung (Fahrzeuge und Fahrbahn) beobachten können. Das System besitzt aber dieselbe Funktionalität.

Sollten Ihnen Funktionen unklar sein, sprechen Sie bitte den Versuchsleiter darauf an.

Um die Automation zu Beginn der Versuchsstrecke zu aktivieren, bringen Sie das Fahrzeug über das Gaspedal leicht zum Rollen. Sobald Ihnen im Tacho das folgende Symbol angezeigt wird, ist das System verfügbar und kann aktiviert werden.



Für die Aktivierung betätigen Sie die Sterntaste an Ihrem Lenkrad. Das Symbol wird grün ausgefüllt und zeigt Ihnen an, dass die Automation läuft.



Das Fahrzeug fährt anschließend selbstständig, Sie können sich komplett zurückziehen und die Zeit nutzen, um sich zu entspannen und zur Ruhe zu kommen. Die Automation funktioniert fehlerfrei und muss nicht überwacht werden. Das System wird eine Geschwindigkeit von 120 km/h halten.

Sollten Situationen auftreten, die von der Automation nicht beherrscht werden, so würden Sie mittels eines akustischen Signals (zweimaliges Piepen) und einer entsprechenden Einblendung im Kombidisplay informiert, die Fahrzeugführung zu übernehmen. Dann müssen Sie wieder selbst fahren. Außerdem wechselt das Symbol von Grün auf Rot.



Falls eine solche Situation auftritt, bitte anschließend manuell weiterfahren.  
Ansonsten benutzen Sie die hochautomatisierte Fahrfunktion so viel wie möglich.

### **Automation (für FFT-Gruppe)**

Im Unterschied zu dem im Video gezeigten System besitzt das System hier im Fahrsimulator kein zusätzliches Display, auf dem Sie die Umgebung (Fahrzeuge und Fahrbahn) beobachten können. Das System besitzt aber dieselbe Funktionalität.

Sollten Ihnen Funktionen unklar sein, sprechen Sie bitte den Versuchsleiter darauf an.

Um die Automation zu Beginn der Versuchsstrecke zu aktivieren, bringen Sie das Fahrzeug über das Gaspedal leicht zum Rollen. Sobald Ihnen im Tacho das folgende Symbol angezeigt wird, ist das System verfügbar und kann aktiviert werden.



Für die Aktivierung betätigen Sie die Sterntaste an Ihrem Lenkrad. Das Symbol wird grün ausgefüllt und zeigt Ihnen an, dass die Automation läuft.



Das Fahrzeug fährt anschließend selbstständig, Sie können sich komplett zurückziehen und die Zeit nutzen, um sich zu entspannen und zur Ruhe zu kommen. Die Automation funktioniert fehlerfrei und muss nicht überwacht werden. Das System wird eine Geschwindigkeit von 120 km/h halten.

Sollten Situationen auftreten, die von der Automation nicht beherrscht werden, so würden Sie mittels eines akustischen Signals (zweimaliges Piepen) und einer entsprechenden Einblendung im Kombidisplay informiert, die Fahrzeugführung zu übernehmen. Dann müssen Sie wieder selbst fahren. Außerdem wechselt das Symbol von Grün auf Rot.



Falls eine solche Situation auftritt, bitte anschließend manuell weiterfahren.  
Ansonsten benutzen Sie die hochautomatisierte Fahrfunktion so viel wie möglich.

### **Eingewöhnungsfahrt**

Stellen Sie zunächst Sitz und Spiegel auf Ihre Bedürfnisse ein und schnallen Sie sich an. Es handelt sich bei dem Fahrzeug um ein Automatikfahrzeug. Die Tankanzeige auf dem Tachometer ist auf null gestellt. Lassen Sie sich davon nicht irritieren.

Bitte nehmen Sie sich ausreichend Zeit um sich an die Fahrsimulation zu gewöhnen und ein Gefühl für das Fahrzeug zu bekommen; wechseln Sie auch mal die Spur oder fahren Sie Schlangenlinien. Die Teststrecke ist ein Autobahnabschnitt, auf dem Sie alleine unterwegs sind und absichtlich kein weiterer Verkehr simuliert ist, damit Sie sich in Ruhe eingewöhnen können.

Nach einem kurvigen Autobahnabschnitt, welchen Sie manuell fahren werden, ist die Automation verfügbar. Aktivieren Sie nun, wie weiter oben im Text beschrieben, gerne die Automation. Das System übernimmt nun für Sie die Fahrt. Auch das Tonsignal, welches Sie auffordert die Fahrzeugführung wieder zu übernehmen, wird Ihnen gezeigt. Probieren Sie bitte auch diese Übernahme aus.

### **Versuchsfahrt (für Hypovigilanzgruppe)**

Nachdem Sie sich mit Fahrzeug und System vertraut gemacht haben, folgt die eigentliche Versuchsfahrt. Sie werden während der gesamten Versuchsfahrt, wie bereits die Eingewöhnungsfahrt, auf einer Autobahn fahren. Bitte beachten Sie, dass wir nicht Sie und Ihr Verhalten beurteilen, sondern einzig das System bewerten

möchten, Sie können also weder schlecht noch falsch agieren, sondern lediglich das System kann unzureichend sein. Bitte versuchen Sie während des gesamten Versuchs sich möglichst eine reale entspannte Fahrt vorzustellen und agieren Sie so, wie Sie es auf der realen Straße auch tun würden.

Denken Sie daran, dass die Versuchsdauer ca. 75 min betragen wird und Toilettengänge während der Versuchsfahrt nicht erwünscht sind.

Bleiben Sie zu Beginn auf der rechten Spur und aktivieren Sie die Automation. Genießen Sie gefahren zu werden und erleben Sie die Vorzüge des automatisierten Fahrens. Wenn Sie am Ende der Versuchsfahrt angelangt sind, werden Sie durch den Versuchsleiter über das weitere Vorgehen informiert.

### **Versuchsfahrt (für FFT-Gruppe)**

Nachdem Sie sich mit Fahrzeug und System vertraut gemacht haben, folgt die eigentliche Versuchsfahrt. Sie werden während der gesamten Versuchsfahrt, wie bereits die Eingewöhnungsfahrt, auf einer Autobahn fahren. Bitte beachten Sie, dass wir nicht Sie und Ihr Verhalten beurteilen, sondern einzig das System bewerten möchten, Sie können also weder schlecht noch falsch agieren, sondern lediglich das System kann unzureichend sein. Bitte versuchen Sie während des gesamten Versuchs sich möglichst eine reale entspannte Fahrt vorzustellen und agieren Sie so, wie Sie es auf der realen Straße auch tun würden.

Denken Sie daran, dass die Versuchsdauer ca. 75 min betragen wird und Toilettengänge während der Versuchsfahrt nicht erwünscht sind.

Bleiben Sie zu Beginn auf der rechten Spur und aktivieren Sie die Automation. Genießen Sie gefahren zu werden und erleben Sie die Vorzüge des automatisierten Fahrens. Während dieser Fahrt haben Sie die Möglichkeit, sich nach Ihren Wünschen zu beschäftigen. Zusätzlich zu Ihren mitgebrachten Gegenständen befinden sich im Fahrzeug verschiedene Zeitschriften und ein Tablet. Letzteres steht Ihnen als Mediacenter zur Verfügung. Auf dem Startbildschirm befinden sich Spiele (AngryBirds, Brain it on, CandyCrush), Videos, Podcasts bzw. Hörbücher und eine Radio-App. Hörbücher und Podcasts können Sie über den Mediaplayer „Music Folder Player“ aufrufen. Am Fahrzeugdach befindet sich eine Leselampe, welche Sie

während der Fahrt gerne nutzen können. Wir bitten Sie lediglich auf die Nutzung von Kopfhörern zu verzichten.

Darüber hinaus stehen Ihnen WLAN und Getränke zur Verfügung.

Im Fahrzeuginneren sind Kameras montiert, diese dienen der Auswertung des Versuches, bieten dem Versuchsleiter jedoch keine Möglichkeit Ihr Display abzulesen. Wenn Sie am Ende der Versuchsfahrt angelangt sind, werden Sie durch den Versuchsleiter über das weitere Vorgehen informiert.