

# Abschlussbericht zum BMBF-Förderprojekt

## PAKoS – Evaluation personalisierter, adaptiver kooperative Systeme aus Nutzerperspektive

### **Verbundnamen:**

Personalisierte, adaptive kooperative Systeme für automatisierte Fahrzeuge

### **Akronym:**

PAKoS

### **Durchführende Institution:**

Spiegel Institut Mannheim GmbH & Co. KG

### **Autoren:**

Beate Irmer, Diplom-Betriebswirtin (FH)

Marcus Mazewitsch, B.Sc. Psychologie

Carolin Lange, M.A. Unternehmenskommunikation / Web Analytics

Philip Rigley, Diplom-Sozialwissenschaftler

Mannheim, 25.6.2020

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2017 – 31.12.2019

Berichtszeitraum: 01.01.2017 – 31.12.2019

Förderkennzeichen: 16SV7681

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16SV7681 gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

## Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Aufgabenstellung Voraussetzungen Rahmenbedingungen .....</b>	<b>3</b>
1	Aufgabenstellung.....	3
2	Voraussetzungen des Vorhabens .....	4
3	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	5
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn .....	6
5	Zusammenarbeit im Forschungsverbund PAKoS .....	12
<b>II</b>	<b>Erzielte Projektergebnisse .....</b>	<b>13</b>
6	Ziele des Projekts.....	13
7	Vorgehensweise und erzielte Projektergebnisse .....	13
8	Voraussichtlicher Nutzen – Verwertbarkeit der Projektergebnisse.....	45
9	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	48
<b>III</b>	<b>Erfolgte und geplante Veröffentlichungen .....</b>	<b>49</b>
10	Beteiligung Spiegel Institut.....	49
11	Andere Projektpartner .....	49
<b>IV</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>50</b>

# I Aufgabenstellung Voraussetzungen Rahmenbedingungen

## 1 Aufgabenstellung

Das Verbundprojekt *PAKoS : Personalisierte, adaptive kooperative Systeme für automatisierte Fahrzeuge* verfolgte das Ziel, erstmalig einen personalisierten Kooperationsmanager zu entwickeln und umzusetzen, der die Interaktion zwischen Mensch und automatisiertem Fahrzeug optimiert und mit einem gemeinsamen Handlungsraum ein planbares Verhalten unterstützen soll.

Automatisierte Fahrzeuge werden den Fahrer zukünftig nicht nur entlasten, sondern streckenweise sogar ganz von der Fahrverantwortung befreien. Dadurch entstehen vielschichtige, neue Schnittstellen zwischen Fahrer und Fahrzeug. Beispielsweise ist beim automatisierten Fahren auf der Autobahn vorgesehen, die Kontrolle an den Fahrer zurückzugeben, wenn die Autobahn verlassen werden soll. Eine andere Systemgrenze liegt beim Wechseln auf eine andere Autobahn vor oder bei einer unkonventionellen Spurführung in einer Dauerbaustelle. Ebenso zwingend notwendig ist eine Übergabe der Fahrzeugkontrolle bei einer Degradation des Automatisierungslevels, etwa durch den Ausfall eines Sensors. Im Unterschied zu heutigen Assistenzsystemen, die den Fahrer durchweg als aufmerksam, überwachend und stets in der Verantwortung voraussetzen, soll der „Fahrer“ –nun Nutzer– bei hochautomatisierten Funktionen im Extremfall völlig unaufmerksam sein dürfen. Bei Pendlern, die auf der Autobahn täglich in dieselbe Baustellensituation geraten, ist in den genannten Szenarien auch in diesem Fall eine schnelle und sichere Übernahme des Steuers zu erwarten. Für den Fahrer eines Kleinbusses, der einen Ausflug mit der Großfamilie im unbekanntem Vehikel aus einem Mietwagen-Portfolio in einer für ihn fremden Gegend unternimmt, gilt dies aber nicht. Folglich sind Fahrfunktionen mit höheren Automatisierungsgraden darauf angewiesen, individualisiert und abhängig vom Nutzerzustand zu agieren. Dazu sollten sie das Leistungsvermögen des jeweiligen Fahrers kennen und sich automatisch darauf anpassen können. Gleichzeitig müssen diese Systeme mit dem Menschen kooperieren. Nur so lassen sich die genannten komplexen Szenarien der Kontrollübergabe sicher und komfortabel lösen.

Zusätzliche Herausforderungen ergeben sich durch alternative Mobilitätskonzepte, die das Mobilitätsverhalten künftig bestimmen werden. An dieser Stelle kann beispielsweise auf die weltweite Zunahme von CarSharing-Angeboten verwiesen werden. Entsprechend erweitert sich die Zielgruppe innovativer Mobilitätskonzepte ständig, so dass Fahranfänger, Senioren und Vielfahrer vermehrt dasselbe Auto nutzen. Während personalisierte und individuelle Komforteinstellungen, beispielsweise die bevorzugte Sitz- oder Rückspiegelkonfiguration oder der geliebte Radiosender, bei einem Fahrzeugwechsel leicht manuell übernommen werden könnten, ist eine manuelle Adaption von komplexen Kontrollübergabeparametern nicht möglich und aus der Perspektive der Fahrsicherheit auch nicht zu befürworten.

Eine innovative Lösungen sowohl der Gestaltung der Mensch-Maschine-Kooperation als auch der Personalisierung stellt der im Rahmen des PAKoS-Verbundprojekts entwickelte und umgesetzte personalisierte Kooperationsmanager dar: Erreicht werden konnte dies durch eine nicht-generische Fahrzeug-Fahrer-Kooperation, die das Gefühl einer technischen Bevormundung verhindert und gleichzeitig die nötige Grundlage bildet, um dem Fahrer mehr Freiheiten beispielsweise in der Durchführung von Nebentätigkeiten zu erlauben. Vier Teilbereiche standen dabei im Fokus:

1. Die Erkennung des Nutzerzustandes
2. Die Personalisierung und Nutzerprofilbildung
3. Die personalisierte Adaption und Kooperation der Automation
4. Die Gestaltung kooperativer Interaktions- und Nutzerschnittstellenkonzepte

Diese vier Bausteine der Kooperation wurden in einem Demonstrator prototypisch integriert und schließlich in einer Nutzerstudie auf ihre Gebrauchstauglichkeit hin evaluiert.

## 2 Voraussetzungen des Vorhabens

Das Spiegel Institut ist ein Marktforschungs- und Beratungsinstitut mit einem weltweiten Netz an Partnerinstituten und gilt als das Gründungsinstitut der Marktpsychologie in Deutschland. Das Institut unterstützt Automobilhersteller und -zulieferer bei der Produktentwicklung von Fahrzeugen, Systemen und Komponenten.

Die Schwerpunkte der Tätigkeit des Spiegel Instituts liegen auf der Usabilityentwicklung, der HMI-Entwicklung sowie der User Experience-Forschung. Unsere große Expertise in der Konzeption, Durchführung und Auswertung von Fahrsimulationsversuchen und Naturalistic Driving Studies basiert auf der Vielzahl bereits durchgeführter Studien. Diese Studien werden sowohl im Rahmen formativer Evaluationsstudien durchgeführt, als auch im Rahmen summativer Studien, bspw. gemäß der Testszenerien der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) zur Abprüfung des Ablenkungspotenzials interaktiver Systeme im Fahrzeug.

Durch die jahrzehntelange Tätigkeit für die Automobilindustrie aber auch durch Vorarbeiten im Projekt INEMAS: Grundlagen interaktions- und emotionssensitiver Assistenzsysteme, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, konnte eine hohe Expertise in der Konzeption, Durchführung und Auswertung von Fahrsimulatorstudien aufgebaut werden. So wurden in diesem Grundlagenforschungsprojekt insgesamt 200 Versuchspersonen im hauseigenen Fahrsimulator bzgl. der Auswirkungen von sozialer Interaktion und Emotionen im Fahrkontext beobachtet und befragt.

Das vom Spiegel Institut verantwortete Teilvorhaben „PAKoS – Evaluation personalisierter, adaptiver kooperativer Systeme aus Nutzerperspektive“ war Bestandteil des Verbundprojekts „PAKoS: Personalisierte, adaptive kooperative Systeme für automatisierte Fahrzeuge“, in dem weitere Projektpartner beteiligt waren:

- Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (Koordinator): Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT): Institut für Anthropomatik und Robotik
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT): Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
- Technische Universität München (TUM): Lehrstuhl für Ergonomie (LFE)
- Fraunhofer Gesellschaft, IOSB: Interaktive Analyse und Diagnose (IAD)
- Robert Bosch GmbH: Chassis System Control
- BMW AG: User Experience Center, Mensch Machine Interaction
- Spiegel Institut Mannheim GmbH & Co.KG: User Experience Forschung und Beratung
- Videmo Intelligente Videoanalyse GmbH & Co. KG
- mVISE AG: Connectivity Solutions
- FZI: Software Engineering
- B.I.G.

Das Forschungsprojekt PAKoS lief vom 1.1.2017 bis zum 31.12.2019. Dieses Teilprojekt hat ein Volumen von 281.787,00 €. Die Förderquote in diesem Teilprojekt betrug 60 %.

### 3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Verbundprojekt PAKoS wurde zum 1.1.2017 bewilligt und mit einer Auftaktveranstaltung aller beteiligten Partner am 30.1.2017 in Karlsruhe durch die Konsortialführung sehr schnell operativ gestartet.

In der Planung des Teilvorhabens „PAKoS – Evaluation personalisierter, adaptiver kooperative Systeme aus Nutzerperspektive“ wurden klare Ziele und Ergebnisse für die einzelnen Arbeitspakete formuliert, die eine vorausschauende Projektsteuerung ermöglichten und dafür sorgten, dass das Projekt im Rahmen des geplanten Förderzeitraums bis zum 31.12.2019 erfolgreich abgeschlossen werden konnte.

<b>Ergebnis</b>	<b>AP</b>	<b>Beschreibung</b>
D1.1	AP 1.1	Anforderungskatalog
D1.2	AP 1.2	Szenarienkatalog und Empfehlungen für die Gestaltung von Übernahmesituationen bei Transitionen zwischen Automatisierungsgraden für diese Szenarien.
D9a.1.1	AP 9a.1	Liste von möglichen Nutzertätigkeiten während automatisierter Fahrt
D9a.2.1	AP 9a.2	Fragebogenkatalog von Methoden zur Messung von Übernahmefähigkeit, Übernahmequalität und Kooperation
D9a.2.2	AP 9a.2	Methoden zur Messung von Usability- und Akzeptanzaspekten zu personalisierten Assistenzfunktionen im Demonstratorstadium
D9a.5.1	AP 9a.5	Informationen für Technikfolgeabschätzung in AP10
D9b.1.1	AP 9b.1	Technische, organisatorische, methodische Vorbereitung der Probandenversuche
D9b.2.1	AP 9b.2	Erhobene Daten durch Probandenversuche
D9b.3.1	AP 9b.3	Auswertung der Probandenversuche
D10.1.1	AP 10.1	Projektinternes Discussion Paper
D10.2.1	AP 10.2	„Runder Tisch“ durchgeführt.
D10.3.1	AP 10.3	Projektinterne Working Paper als Input für den Runden Tisch  Report: Ergebnisse der entwicklungsbegleitenden TA und Ableitung für Möglichkeitsbedingungen für personalisierte, adaptive Kooperationsmanager mit unterschiedlichen technologischen Ausprägungen in verschiedenen sozio-technischen Kontexten

*Tabelle 1: Übersicht der Ziele und Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete*

## 4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn

Einer rasanten Entwicklung im Bereich der Sensorik und Fahrfunktionen für automatisiertes Fahren (teil- und hochautomatisiert entsprechend BSt [Gasser.2012], NHTSA [NHTSA.2013] und SAE [SAE.2014]) steht das weitgehende Fehlen adäquater individueller Interaktion zwischen Mensch und Maschine beim automatisierten Fahren gegenüber [Norman.1989; Bainbridge.1983]. Bei heutigen Assistenzsystemen erfolgt die Übergabe des Fahrzeugs an den Fahrer lediglich binär und generalisiert [Winner.2009]. Überträgt man dieses Kontrollübergabekonzept unreflektiert auf teil- oder hochautomatisierte Fahrzeuge (nimmt den Fahrer also aus dem Regelkreis), wird dies zu „out of the loop“-Effekten führen – der langsamen Erkennung der Verkehrssituation, des Automationsmodus und der Fahraufgabe durch den Fahrer während der Übergabe und der daraus resultierenden unzureichenden Handlung des Menschen. Der erforderliche Paradigmenwechsel in der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion bei der Kontrollübergabe hat aus zwei Gründen noch nicht stattgefunden. Einerseits fehlt ein adäquater wissenschaftlicher Fortschritt – insbesondere im Bereich der Personalisierung – in einzelnen Disziplinen. Deren Lücken werden nachfolgend kurz beschrieben. Andererseits fehlt eine enge Vernetzung der Teillösungen zu einem ganzheitlichen Kooperations-Konzept.

### 4.1 Regelungstechnische Funktionen zur Kontrollübergabe

Fahrerassistenzsysteme beinhalten schon heute Funktionen zur Kontrollübergabe zwischen Fahrer und Fahrzeug [Winner.2009]. Sie lassen sich in Übergabefunktionen klassifizieren, die die Übergabe vom Fahrzeug an den Menschen durchführen und in Übernahmefunktionen, bei denen der Mensch diesen Wechsel initiiert. Beide agieren lediglich binär und wechseln nur zwischen manuellem und assistiertem Modus. Während Übernahmefunktionen in der Regel softwareseitig nur ein „sanftes“ Abschalten des Assistenzsystems beinhalten, ist der Algorithmus für Übergabefunktionen umfangreicher. Auf Basis der durch Umfeldsensoren erfassten Umgebung sowie der Fahrdynamiksensorik wird eine Übergabesituation berechnet, die dann an den Fahrer kommuniziert wird. In Assistenzsystemen finden sich grundsätzlich folgende Funktionen: Warnfunktionen für kritische Situationen und an Systemgrenzen sowie Übergabefunktionen aufgrund eines Teilsystemausfalls (Degradation). Jede dieser Funktionen verfolgt das Ziel, unabhängig von dem Automatisierungslevel eine kritische Fahrsituation zu detektieren. Warnfunktionen werden technisch dadurch realisiert, dass bestimmte Residuen berechnet und dann mit einem Schwellwert verglichen werden [Winner.2009]. Einige bilden diese Größen auch explizit über eine Regelbasis auf ein Kritikalitätsmaß ab. Hierbei kommen Fuzzy-Regelsätze [Börner.2006; Wang.2010], Neuronale Netze [Harris.1996; Chang.2008; Wu.2012], Clusterverfahren [Tapia.2013] oder Bayes'sche Netzwerke [Oh.2005; Kawasaki.2004] zum Einsatz. In weitergehenden Ansätzen wird der Fahrer über die Analyse der Lenkbewegung [Pilutti.1999; Friedrichs.2010; Torkkola.2004; Zhong.2007], der Bedienung von Nebenbedienelementen wie Blinker, Radio etc. oder Innenraumüberwachungen [BLee.2012] in die Kritikalitätsbestimmung mit einbezogen. Demgegenüber realisieren Degradationsfunktionen Abschaltmechanismen, die aufgrund eines Teilsystemausfalls eine Übergabe an den Fahrer erfordern. Im Kern stehen entsprechende Diagnoseroutinen für Fehler im System. Untersuchungen im Projekt KoHAF, an dem auch die Projektpartner dieses Projektes beteiligt sind, zeigen jedoch Schwierigkeiten bei der Übertragung dieser Regelungsfunktionen auf teil- und hochautomatisierte Systeme. Eine engere Verzahnung zwischen Fahrer und Fahrzeug ist erforderlich. Aus der bisher vorliegenden reinen Steuerung muss eine Regelung der Kontrollübergabe werden. Hierfür sind die aktuellen Funktionen nicht ausgelegt. In der Grundlagenforschung werden deswegen seit einiger Zeit Verfahren untersucht, die durch eine gänzlich andere Herangehensweise geprägt sind: Sie haben eine engere Kooperation zwischen Fahrer und Fahrzeug zum Ziel [Abbink.2006,

Winner.2009, Flad.2014]. Für die Lösung der hier gestellten Frage erscheint dieser Ansatz vielversprechend, da die Erwartung besteht, durch die Kenntnis der Aktivitäten des Menschen im Fahrzeug sowohl die Kontrolle als auch die Aufmerksamkeit und die Reaktionsfähigkeit des Fahrers gezielt regeln zu können. Allerdings sind auch diese Ansätze noch in einem frühen Stadium der Entwicklung; weder werden sie ganzheitlich umgesetzt noch sind sie bisher personalisiert oder ermöglichen eine durchgängige Adaption an ein individuelles Fahrerprofil.

## 4.2 Ergonomische Interaktionsgestaltung für automatisierte Fahrzeuge

Das Zusammenspiel von Mensch und Automation für manuelles bis vollautomatisiertes Fahren untersuchte beispielsweise das Projekt H-Mode [Flemisch.2008]. Die binäre Transition wird zurzeit in (artificialen) automatisierten Szenarien u.a. anhand des Systemversagens (ein kompletter Ausfall der Längs- und/oder Querverführung) oder der Systemgrenze (z.B. das Ende einer Autobahn) betrachtet. Gegenstand der Forschung sind dabei entweder Übergabezeiten und -qualität oder die menschliche Zuverlässigkeit im (binären) Transitionsfall [Merat.2014; Gold.2013], jedoch lassen sich Übernahmezeiten (ohne individuelle Betrachtung des Fahrers) kaum verbessern. Zwar wird die Interaktion etwa durch haptisch-multimodale Bedienkonzepte optimiert [Schieben.2008; Bengler.2012, Flemisch.2014], jedoch findet bislang keine Adaption an die Fahrerpräferenz oder den Nutzerzustand statt.

Je nach Situation (etwa komplexen Szenarien) und Informationsgehalt (Warnung, Information, Handlungsanweisung, ...) können (und müssen) Informationen über verschiedene Sinnesmodalitäten (visuell, auditiv, vestibulär, taktil, kinästhetisch) übertragen werden [D3CoS.2014, Information Modality]. Eine geeignete Wahl des Interfaces wird für die automatisierte Fahrzeugführung an Bedeutung gewinnen: in Situationen, in denen der Fahrer weder die Hände am Lenkrad hat, noch seine Aufmerksamkeit auf Umgebung oder bestimmte Anzeigeelemente richtet. Nach Wickens' Theorie multipler Ressourcen sind die menschlichen Aufmerksamkeitsressourcen jedoch beschränkt [Wickens.2000]. Multimodalität – wie sie in PaKoS für die kooperative automatisierte Fahrzeugführung umgesetzt werden soll – baut auf den Gestaltungsempfehlungen des Projektes D3CoS auf und bedeutet in diesem Kontext die Verteilung notwendiger Informationen über alle Ausgabeelemente (Head-up-Display, aktives Lenkrad, Kombiinstrument, ambientes Display, Vibrationssitz, Surround-Sound, ...), die Verknüpfung der Information mit dem Ort des Geschehens (z. B. durch Kontaktanalogie [Foyle.1995]) und der Aufmerksamkeit, die multimodale Eskalation (Übernahmeaufforderung z.B. erst visuell, dann als Vibration, dann ein Ton, dann eine Tonfolge) und auch die adaptive Informationsreduktion (z. B. Ausblenden von Infotainmentfunktionen im Übernahmefall) [D3CoS.2014, Multimodality]. Insbesondere die aufmerksamkeitsabhängige Informationsverknüpfung und multimodale Eskalation profitieren dabei von einer Fahrer- und Innenraumerfassung.

Erfolgreiche Kooperation, wie sie im Projekt D3CoS [D3CoS.2014] zunächst für manuelle Fahrt zwischen mehreren Fahrzeugen eingeführt wurde, lebt von einem gemeinsamen Handlungsraum [Zimmermann.2014], der zwischen Mensch (Problemlöser, Eingreifer, ...) und Automation (Handlungsvorschläge, Manöverplanung, ...) ausgehandelt („arbitriert“, vgl. [Kelsch.2013]) wird [Bengler.2012]. Für eine optimale Übergabe muss der Mensch situationsabhängig zum kooperativen Eingriff aufgefordert werden (Kommunikation maschineller Handlungsempfehlungen). Auch die jeweilige Berücksichtigung seiner momentanen Möglichkeiten (Erkennen des menschlichen Zustandes), also die Fahrer-/Innenraumerfassung, ist dazu notwendig. Im Projekt HFauto werden Nutzerzustandserfassung und Interaktion zwar fragmentarisch erforscht [Petermeijer.2015], es findet jedoch keine Adaption (an Nutzer und Situation) und lediglich eine binäre Transition statt. Eine

(wissenschaftliche bzw. publizierte) Integration eines adaptiven kooperativen Systems im Realfahrzeug existiert bislang nicht.

### 4.3 Innenraumerfassung und Interpretation

Die Ergebnisse aktueller Forschungsarbeiten zeigen, dass die Bestimmung der Kopfpose oder der Blickrichtung, sowie des visuellen Aufmerksamkeitsfokus des Fahrers gelingt [Ji.2002; Fletcher.2005]. Durch die Erfassung der Hände kann festgestellt werden, mit welchen Objekten im Fahrzeuginnenraum interagiert wird. Dies erlaubt sowohl Rückschlüsse auf die momentane Aufmerksamkeit als auch auf die Intention des Fahrers [Bach.2008; Pickering.2007; Ohn-Bar.2014]. Zudem kann die gesamte Körperpose des Fahrers [Demirdjian.2009; Tran.2009] aufgezeichnet werden, um damit den momentanen Zustand [Holte.2012] oder auch die Intention [Ito.2008] zu bestimmen. Systeme zum Erkennen der Kopfpose und Blickrichtung im Auto sind schon seit einiger Zeit kommerziell verfügbar. Verfahren zur Körperposenerfassung im Auto werden allerdings erst vereinzelt wissenschaftlich erforscht [Demirdjian.2009; Tran.2009]. Im aktuell laufenden BMBF-Projekt InCarIn [InCarIn.2014], in dem auch Projektpartner dieses Projektes beteiligt sind, wird erstmalig die Körperposenerfassung aller Fahrzeuginsassen umgesetzt, um auch Interaktionen zwischen Insassen zu erfassen. Eine umfassende Innenraumzustandserkennung ist für antizipierende Assistenzfunktionen, wie sie in InCarIn betrachtet werden, notwendig. Eine solche Innenraumzustandserkennung ist jedoch auch erforderlich, um die vielfältigen Nebentätigkeiten während des automatisierten Fahrens zu erfassen und hierdurch eine zuverlässige Aussage über den Zustand und die Ablenkung des Fahrers zu ermitteln. In den aktuellen Arbeiten wird der Fahrer oftmals nur während der manuellen Fahrt modelliert. Typischerweise werden Informationen über das Befinden des Fahrers, wie Müdigkeit, Abgelenktheit oder Überforderung, abgeleitet [Arun.2012; Kaplan.2015]. Im Gegensatz zur manuellen Fahrt, in der die Aktivitäten des Fahrers hauptsächlich auf die Fahraufgabe beschränkt sind, ist im Falle automatisierten Fahrens zu erwarten, dass der Fahrer einer Vielzahl unterschiedlicher Aktivitäten nachgeht. Im Übergabefall führt dies zu unterschiedlich langen Übergabezeiten [Petermann-Stock.2013]. Wie diese Aktivitäten robust erkannt und die nötigen Übergabezeiten geschätzt werden können, ist noch wenig erforscht.

Die Aktivitätserkennung ist ein sehr aktives Forschungsfeld. Bei solchen Systemen erfolgt die Einordnung von Aktionen in erlernte Aktionskategorien. Hierfür werden häufig bildbasierte Merkmale als Grundlage verwendet. Bekannte Verfahren setzen zum Beispiel Raum-Zeit-Deskriptoren und ein Bag-of-Words-Modell [Rybok.2011, Wang.2011]) ein. Aktivitäten werden nicht nur als Ganzes klassifiziert, es können auch in einem Zwischenschritt zunächst Attribute gelernt und damit dann verschiedene Aktivitäten beschrieben werden [Sawhney.2013]. Weitergehende Ansätze nutzen die Körperpose als Zwischenschritt zur Aktionserkennung [Vemulapalli.2013]. Vorhandene Systeme basieren jedoch nur auf einer Auswahl von wenigen Modalitäten oder Teilaktivitäten [ebd.]. Ein komplexeres Aktivitätserkennungssystem, welches Übergabezeiten und Leistungsparameter des „Fahrers“ während des automatisierten Fahrens vorhersagt und eine kooperative Übergabe zum manuellen Fahren ermöglicht, wurde bisher noch nicht erarbeitet.

Bei der automatischen Gesichtserkennung findet ein Mustervergleich zwischen den eingehenden Kamerabildern und den Referenzbildern einer Person statt. Die größten Herausforderungen dabei sind zum einen die Abweichungen der Kopfpose (out-of-plane rotation) und zum anderen die unterschiedliche Beleuchtungsbedingungen. Beide Faktoren können durch die bekannten Algorithmen nicht gänzlich kompensiert werden. Während die Kopfpose des Fahrers bei der Fahrt durch den Blick nach vorne eingeschränkt und dadurch weniger problematisch ist, so ist die Beleuchtungssituation im Fahrzeug durch den Wechsel zwischen Sonnenlicht, Schatten und

Dunkelheit sehr herausfordernd. In der Literatur [Kang.2015, Ghiass.2014] wird daher im Fahrzeug gerne mit aktiver Infrarotbeleuchtung (NIR) gearbeitet, um den Einfluss der natürlichen Beleuchtung möglichst auszuschließen. Hierbei stellt sich das Problem, wie das Referenzbild (z. B. Führerscheinbild), das mit sichtbarem Licht aufgenommen wurde, mit den NIR-Bildern verglichen werden kann. In diesem Projekt soll daher ein „mixed-mode“-Verfahren untersucht werden, bei dem die Identitätsmodelle der Fahrer (bestehend aus normalen Bildern) während der Fahrt automatisch um NIR-Bilder angereichert werden (unüberwachtes Lernen).

#### 4.4 Personalisierung im Fahrzeug

Die Personalisierung hat in der Fahrzeugwelt längst Einzug gehalten. Das Erkennen von Fahrerprofilen sowie die Adaption von Fahr- und Schaltstrategien sind heute schon Grundbestandteil von Automatikgetrieben und Motorsteuerungen. Mit der Speicherung der Einstellungen für Außenspiegel, Fahrersitz, Lenkwiderstand sowie der Parametrisierung von Anzeigen für das Multimediasystem liegen im Komfortbereich weitere Beispiele für eine Personalisierung vor [Volvo.2015; Ussat.2012].

Im Bereich der passiven Sicherheit gibt es ebenfalls Bestrebungen hin zu einer Personalisierung. Aktuelle Systeme werden unter der Annahme von Standardisierungen entwickelt und ausgelegt. So wird bei der Auslösestrategie von Rückhaltesystemen nicht zwischen einer kleinen Person, einer übergewichtigen Person oder einem Kind unterschieden. Eine personenbezogene individuelle Adaption der passiven Sicherheitssysteme kann die Verletzungsschwere der Insassen reduzieren und einen besseren Schutz garantieren. Informationen über Größe, Gewicht, Alter oder individueller Einschränkungen können genutzt werden um die Airbag-Füllsteuerung sowie die Rückhaltekraft des Gurtstraffers individuell an den Insassen anzupassen [Schöneburg.2003]. Systeme wie beispielsweise das Occupant Classification System (OCS) von Siemens VDO Automotive oder das Delphi Passive Occupant Detection System messen mit Hilfe von Sensoren im Sitz die Gewichtsbelastung und können dadurch eine erste Klassifikation der Insassen in unterschiedliche Gewichtsklassen vornehmen. Des Weiteren kann eine Erkennung der Sitzposition und der Ausrichtung der Insassen, beispielsweise über eine 3D-Kamera, für eine Anpassung der Strategien der passiven Sicherheit genutzt werden [Paschek.2001].

Fahrermodelle und -profile kommen bereits heute bei Fahrerassistenzsystemen zum Einsatz. In der Regel werden dabei Fahrermodelle mit einem generischen Fahrverhalten hinterlegt, welche jedoch nicht individuelle auf den Fahrer bzw. das aktuelle Fahrverhalten adaptiert werden. In der Patentschrift [Friedrich.2010] wird ein Verfahren zur Adaption von Assistenzsystemen (wie z.B. Fahrdynamik- oder Antriebsschlupfregelungen) vorgestellt, bei denen keine manuelle Umschaltungen zwischen statischen Fahrerprofilen, sondern eine dynamische Anpassung der Regelschwellen auf Basis des aktuellen Fahrverhaltens erfolgt. In [Gonter.2010] wird ein Verfahren zur individuellen Anpassung eines Notbremsassistenten durch eine Adaption des Zeitpunktes der Warnung bzw. des Eingriffes in Abhängigkeit des Fahrerprofils beschrieben. Ein „sportlicher“ Fahrer verlässt später seinen Komfortbereich, wodurch der Zeitpunkt des Eingriffes deutlich später als bei einem „konservativen“ Fahrer liegen kann. Auch im Rahmen des Projektes S.A.N.T.O.S (Situations-Angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung) wurde mit Hilfe von Fahrerprofilen eine erste Adaption von Assistenzfunktionen (z.B. des ACC) vorgenommen. Der Nutzer musste hierbei eine Selbsteinschätzung des Fahrstils (sportlich, normal, entspannt) vornehmen, welcher mit festen Parametern für die maximale Beschleunigung/Verzögerung und den Folgeabstand für das ACC verknüpft wurde [König.2002]. Eine lernbasierte

Fahrermodellierung als Ausgangspunkt für die Anpassung von Spur- und Abstandshaltesystemen wurde in [Lefèvre.2015] untersucht.

Die Basis für eine Personalisierung ist die Erkennung bzw. Klassifikation des Fahrerprofils. Zur Bestimmung des Fahrerstils gibt es umfangreiche Ansätze, welche auf den Daten der Inertialsensorik und Fahrzeugparameter beruhen ([LY.2013], [Schulz.2008]) oder externe Sensoren wie beispielsweise Smartphones berücksichtigen [Johnson.2011]. Des Weiteren wird in [Dörr.2014] ein Verfahren zur Erkennung des Fahrerprofils mit Hilfe einer Fuzzylogik beschrieben. Eine Berücksichtigung des aktuellen Fahrerzustandes bzw. der Fahreraufmerksamkeit auf das Fahrerprofil bzw. die Adaption von Fahrerassistenzsystemen wurde noch nicht ausreichend untersucht.

Im aktuellen Stand der Technik wird in der Regel manuell zwischen statischen Benutzerprofilen (Sport, Eco, Normal) umgeschaltet, selten erfolgt eine dynamische Anpassung an die aktuelle Fahrsituation. Die personenspezifische Zuordnung der Konfiguration muss der Fahrer derzeit manuell über Bedienelemente vornehmen oder sie erfolgt automatisch über den Fahrzeugschlüssel, wobei keine weitere Verifikation des Fahrers erfolgt. Weitergehend ist eine Übertragung der Profile zwischen verschiedenen Fahrzeugen über ein externes mobiles Gerät (Smartphone) oder über eine cloudbasierte Lösung[Camacho.2015] noch nicht weitreichend untersucht wurden.

#### 4.5 Systemvertrauen und Nebentätigkeiten

In autonome und halbautonome Fahrzeuge eingebettete Fahrerassistenzsysteme haben das Potenzial, die Fahrsicherheit zu erhöhen. Gleichzeitig bieten sie dem menschlichen Fahrer die Flexibilität, sich anderen – möglicherweise dringenden – Angelegenheiten, Tätigkeiten und Problemen zuzuwenden, die bei einer manuellen Fahrt nicht ausgeführt werden könnten (Parasuraman, Cosenzo und De Visser 2009). Frühere Untersuchungen legen jedoch nahe, dass nicht alle Fahrer automatisierten Fahrsystemen vertrauen (Beller, Heesen und Vollrath 2013; Verberne, Ham und Midden 2012; Xiong et al. 2012). Dieser Mangel an Vertrauen kann dazu führen, dass es dem Fahrer nicht gelingt, sich vollständig auf eine sekundäre Aufgabe zu konzentrieren. Darüber hinaus ist es möglich, dass der Fahrer die Verantwortung für das Fahren gar nicht erst abgibt (Gremillion et al. 2016). Im ersten Fall wird die Leistung in der sekundären Aufgabe behindert, da der Fahrer die Fahrsituation ständig beobachtet. Im zweiten Fall gelingt es dem Fahrer nicht, die sekundäre Aufgabe zu erledigen. Um eine optimale Aufgabenerfüllung zu erreichen, müssen sich die Fahrer beim Fahren auf die Fahrzeugautomatisierung verlassen können, damit sie eine Nebenaufgabe effektiv und effizient erledigen können.

Frühere Studien, die sich mit Ansätzen zur Förderung des Vertrauens in autonome oder halbautonome Fahrzeuge befassten, wurden um ein gemeinsames Paradigma herum konzipiert, das davon ausgeht, dass der Fahrer zu jeder Zeit die Fahrzeugaktionen überwacht oder überwachen sollte, um bei Bedarf zu übernehmen (Carsten et al. 2012; Hergeth et al. 2016; Ma und Kaber 2005). Infolgedessen behandeln diese Studien sekundäre Aufgaben häufig als Ablenkung, Herausforderung, Kompensation oder Verhinderung. Diese Sichtweise ist dann angebracht, wenn das Ziel darin besteht, die Aufmerksamkeit des Fahrers (zurück) auf das Fahren zu lenken und beispielsweise Reaktionszeiten zu analysieren oder Warnsysteme zu evaluieren. Diese Sichtweise ignoriert jedoch das Potenzial der Fahrer, die Vorteile des autonomen oder halbautonomen Fahrens voll auszuschöpfen, indem sie sich absichtlich nicht auf die Fahrt, das Fahrzeug und die Umgebung konzentrieren. In diesen Situationen sind sekundäre Aufgaben keine Ablenkungen, sondern wünschenswerte Ereignisse und Zeichen des Vertrauens. Die Ausübung dieser Aufgaben im autonomen oder halbautonomen Fahren sollte entsprechend unterstützt werden [Peterson et al.2019].

Entsprechend des Anwendungsfalles, des Studienschwerpunktes und des Forschungsinteresses müssen beide Aspekte und Sichtweisen auf Nebentätigkeiten bei der Planung zukünftiger Studiendesigns und bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Die Wahrnehmung des Fahrers erfolgt in Interaktion mit verschiedenen Aspekten des Fahrens, vor allem mit dem Fahrer selbst und seinem Wahrnehmungsfokus. Dies wirft die Frage auf, wie die Teilnehmer das Fahrverhalten des Autos wahrnehmen werden, wenn sie sich auf eine andere Tätigkeit konzentrieren (sekundäre Aufgabe). Zu dieser Frage gibt es in der Literatur wenig Daten (vgl. Hajek, 2017, S.37ff), und die vorhandenen Daten konzentrieren sich hauptsächlich auf die Wahrnehmung ohne zusätzliche Aktivitäten.

## 5 Zusammenarbeit im Forschungsverbund PAKoS

Das vorliegende Vorhaben ist Teil des Verbundprojekts PAKoS, welches gemeinsam durch das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) als Koordinator, die Technische Universität München (TUM), Fraunhofer Gesellschaft (IOSB), die Robert Bosch GmbH, die BMW AG, die Spiegel Institut Mannheim GmbH & Co.KG, die Videmo Intelligente Videoanalyse GmbH & Co. KG, die mVISE AG, das FZI und die B.I.G. durchgeführt wurde. Die Funktionen der einzelnen Partner im Verbund waren:

<b>BMW</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschreibung und Definition von Anforderungen aus Kunden- und Nutzerperspektive</li> </ul>
<b>B.I.G.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschreibung und Definition von Anforderungen aus Kunden- und Nutzerperspektive</li> <li>- Anforderungen an die Personalisierung</li> <li>- Realfahrzeugstudie</li> </ul>
<b>Robert Bosch GmbH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestaltung und Umsetzung von Personalisierungskonzepten im Bereich Fahrerassistenzfunktionen</li> <li>- Steuerung und Überwachung von Nebentätigkeiten in Abhängigkeit des Fahrerzustandes und der Fahrsituation</li> <li>- Gestaltung von standardisierten E/E Architekturen</li> <li>- Aufbau und Umsetzung Demonstrator</li> <li>- „Übertragungskonzept“ der Personalisierung (Anpassung auf Fzg. mit anderem Funktionsumfang/Sensorik)</li> <li>- Untersuchung der Auswirkung der Personalisierung auf die ASIL Einstufung</li> </ul>
<b>LfE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interaktionskonzepte für adaptive Übergabe</li> <li>- Konzepte zur Ergonomie einer personalisierten Automation</li> </ul>
<b>KIT-CVHCI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Handlungserkennung (atomare Handlungsatome / zusammengesetzte Handlungen)</li> <li>- Erkennung von Identität, Alter und Geschlecht</li> </ul>
<b>IOSB</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kamerabasierte Innenraumerfassung, Personenerfassung</li> <li>- Handlungs- und Aktivitätserfassung</li> <li>- Konzepte und Beiträge zur Datenverarbeitung</li> </ul>
<b>IRS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kooperative Regelungskonzepte für die adaptive personalisierte Kontrolle</li> </ul>
<b>ITAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse ethischer, rechtlicher und sozialer Implikationen in der entwicklungsbegleitenden TA, Unterstützung der Nutzerstudien und der Evaluation</li> </ul>
<b>Spiegel Institut</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschreibung und Definition von Anforderungen aus Kunden- und Nutzerperspektive</li> <li>- Evaluation im Realfahrzeug, Fahrsimulator und Demonstrator</li> </ul>
<b>Videmo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifikation des Fahrers mittels Gesichtserkennung (Softwaremodul)</li> <li>- Untersuchung von IR und automatischer Modellanpassung für die Gesichtserkennung</li> </ul>
<b>mVISE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschreibung und Definition von Anforderungen aus Kunden- und Nutzerperspektive</li> <li>- Umsetzung von Personalisierungskonzepten unter Verwendung von mobilen Endgeräten</li> <li>- Persistenz Modelle für Nutzerprofile inklusive Berücksichtigung von Datensicherheits- und Datenschutzaspekten</li> <li>- Skalierungsmodelle in der Cloud</li> <li>- Frontend-Gestaltung der Anwendungen auf den mobilen Endgeräten</li> <li>- Konzepte für revisions sichere und dokumentierte Datenübertragung sowie Auswertung von Massendaten zur kontinuierlichen Qualitätssicherung</li> </ul>
<b>FZI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Datensicherheit und Datenschutz</li> </ul>

Tabelle 2: Liste der Projektpartner und ihre Rolle im Projekt

## II Erzielte Projektergebnisse

### 6 Ziele des Projekts

Für das Spiegel Institut lagen die Schwerpunkte des Teilvorhabens zum einen auf der Ermittlung der relevanten Anforderungen der Nutzer- und anderer Stakeholder und zum anderen auf der empirischen Absicherung der erarbeiteten Konzeptansätzen in Versuchen mit Demonstratoren und Realfahrzeugen.

Zunächst wurden in diesem Verbundprojekt die Anforderungen an den Kooperationsmanager einerseits und an die Transition andererseits festgelegt. Die Szenarien und Use-Cases wurden anhand [Geyer.2014] definiert. Ziel war es, Nutzerbedürfnisse im Kontext von personalisierten Fahrerassistenzfunktionen zu analysieren und für den Anforderungskatalog bereitzustellen. Hierzu wurden durch das Spiegel Institut unter anderem Methoden zur Erfassung und Auswertung von Nutzerbedürfnissen und -anforderungen ermittelt und zur weiteren Verwendung im Projekt als Methodenset formuliert.

Im Rahmen des Gesamtvorhabens wurden von den Projektpartnern auf Basis der ermittelten Anforderungen zahlreiche Konzepte entwickelt. Es wurden unterschiedliche Fahrzeugdemonstratoren aufgebaut und Simulatoren und Realfahrzeuge mit dem entwickelten Kooperationsmanager ausgerüstet. Mit den Demonstratoren, Simulatoren und Realfahrzeugen wurden differenzierende Studien durchgeführt, die aus verschiedenen Perspektiven eine personalisierte Kooperation untersuchten. Das Ziel des Spiegel Instituts bestand darin, die Akzeptanz, Nutzerfreundlichkeit und Robustheit des Systems zu evaluieren sowie die Übernahmefähigkeit, die Übernahmequalität und das Kooperationsverhalten zu messen.

### 7 Vorgehensweise und erzielte Projektergebnisse

Das Spiegel Institut brachte seine Expertise als Projektpartner im Forschungsprojekt PAKoS insbesondere in den Arbeitspaketen 1 sowie 9 ein. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Aufgaben und Arbeitsbereiche des Spiegel Instituts, die Planung des Vorhabens sowie die Voraussetzungen, unter denen die Forschungsarbeiten durchgeführt wurden.

AP 1 bildet mit der Definition und Ausgestaltung der Szenarien Fahrkooperation, Individualisierung der Konfiguration und portable Personalisierung, sowie der Gestaltung der Use-Cases und Situationen die Grundlage aller folgenden Arbeitspakete. Im Zuge des AP 1 definierte das Spiegel Institut ein Methodenset (AP 1.2), das im Anschluss bei der Ausarbeitung der Anforderungsdefinition (AP 1.1) als Instrument genutzt wurde.

Die ursprüngliche Planung des AP9 sah vor, in einer Probandenstudie zum integrierten Kooperationsmanager im Bosch-Versuchsfahrzeug sowie im B.I.G.-Demonstrator die Ergebnisse aus den Simulatorstudien hinsichtlich Übernahmepersistenz, Kooperations-Qualität und Usability zu überprüfen. Das Ausscheiden des Projektpartners B.I.G. erforderte allerdings eine Neustrukturierung des AP 9. Infolgedessen wurden sicherheitsrelevante Aspekte, wie beispielsweise die Evaluation der Übernahmepersistenz, vermehrt in den zuvor durchgeführten Simulatorstudien verortet. Das Spiegel Institut trug zwar hauptsächlich die Verantwortung für die methodische Konzeption der durchzuführenden Studien, übernahm jedoch im Rahmen der Umplanung zusätzlich hauptverantwortlich die Organisation und Planung der Realfahrt-Probandenstudie. Hierzu zählte unter anderem die Auswahl und Bereitstellung einer geeigneten Teststrecke zur Durchführung der Evaluationsstudie im Bosch Versuchsfahrzeug.

In AP 10 wurden die ethischen, rechtlichen und sozialen Implikationen der erarbeiteten Konzepte untersucht: Dabei standen unter anderem das geplante Priming während der Transitionsphasen, die kameragestützte Überwachung des Fahrzeuginnenraums und die Nutzung von individuellen Nutzerprofilen im Fokus der ELSI-Betrachtungen. Ethische Fragen wurden dabei sowohl auf der individuellen wie auf der sozialen Ebene aufgeworfen, da es zu Implikationen für den Einzelnen, aber auch für die Gesellschaft als Ganzes kommt. Viele dieser ethischen Fragen verweisen zugleich auf die juristische Dimension, wie etwa Privatheit, Datenschutz personenbezogener Daten oder Gerechtigkeit z.B. wer für mögliche Schäden haftet, die bei der Nutzung und bei einem Ausfall (technischer Fehler) des Systems entstehen. Die entwicklungsbegleitende Technikfolgenanalyse – federführend geleitet durch ITAS geleitet - wurde methodisch durch einen multidisziplinären, multiperspektivisch besetzten „Runden Tisch“ (Expertenbeirat) erreicht.

Im Folgenden werden die Vorgehensweise und die erzielten Ergebnisse in den einzelnen Arbeitspaketen ausführlicher dargestellt.

## 7.1 Szenarienanalyse (AP 1.2)

AP 1.2 beschäftigte sich mit der Recherche und Auswahl geeigneter Methoden zur Erfassung und Auswertung von Nutzerbedürfnissen und -anforderungen im Kontext von personalisierten Fahrerassistenzfunktionen und zu Nebentätigkeiten während teil- und hochautomatisierter Fahrten. Das Ziel bestand darin, ein Methodenset für die weitere Verwendung zu definieren. Auf dieses Methodenset wurde im Rahmen des Forschungsprojektes PAKoS in verschiedenen Arbeitspaketen bei der Ausgestaltung des Studiendesigns zurückgegriffen.

### **Methode**

Die Auswahl der Methoden erfolgte auf Grundlage der ISO 9241 Teil 210 „Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme“, in der Grundsätze der nutzerzentrierten Anforderungsanalyse formuliert sind:

- Die Gestaltung basiert auf einem umfassenden Verständnis der Benutzer, Arbeitsaufgaben und Arbeitsumgebungen
- Benutzer sind während der Gestaltung und Entwicklung einbezogen
- Das Verfeinern und Anpassen von Gestaltungslösungen wird fortlaufend auf der Basis benutzerzentrierter Evaluierung vorangetrieben
- Der Prozess sieht Iterationen vor
- Bei der Gestaltung wird die gesamte User Experience berücksichtigt
- Das Gestaltungsteam vereint fachübergreifende Kenntnisse und Gesichtspunkte

Über diese grundsätzlichen Anforderungen hinaus wurden für die Auswahl passender Methoden weitere Anforderungen formuliert:

- Die Erhebungsmethode sollte im Nutzungskontext stattfinden, um Beobachtungen nah am Alltag der Fahrer zu ermöglichen und Kontextinformationen zu sammeln.
- Die Erhebungsmethode sollte es erlauben, den Nutzer in seiner Fahrtätigkeit zu beobachten (implizite Daten) und zu befragen (explizite Daten).
- Der Einfluss des Interviewers auf die Beobachtung sollte möglichst gering sein (Meister-Schüler-Modell: der Interviewer als Schüler, der vom Meister lernt)
- Die Erhebungsmethode sollte sowohl das Beantworten und Dokumentieren geschlossener Fragen (mögliche Antwortkategorien vorgegeben) als auch offener Fragen (keine Antworten vorgegeben) ermöglichen.

- Die Erhebungsmethode sollte es ermöglichen, das Interview per Audio- oder Videotechnik aufzuzeichnen.
- Die Erhebungs- und Auswertungsmethode sollte konform mit der DSGVO sein und die Anonymität der Daten gewährleisten.

## Ergebnisse

Fünf Methoden wurden für die Anforderungsanalyse und –definition ausgewählt und als folgendes Methodenset erstellt:

- **Desk Research (Sekundärforschung):** In einem ersten Schritt werden empirische Daten aus vorliegenden Studien analysiert. Dieses Vorgehen stellt eigene Analysen (Primärforschung) auf ein breites empirisches Fundament und erhöht die Validität der verwendeten Informationen. Zudem ermöglicht die Durchführung und Verwendung von Desk Research eine Aufwandsminimierung und erleichtert zusätzlich die Interpretation von Primärdaten.
- **Qualitative Tiefeninterviews:** Als Instrument der Psychotherapie, der empirischen Sozialforschung und der Marktforschung werden in Einzelinterviews mit Hilfe eines Gesprächsleitfadens relevante Themenfelder vertiefend und dabei möglichst vollständig, unverzerrt und weitestgehend ungestützt beleuchtet und die persönlichen Einstellungen und Nutzerbedürfnisse erhoben. Das Tiefeninterview zählt zu den intensivsten und ergiebigsten Befragungsarten.
- **Lead User Methode:** Mit der Lead User Methode werden trendführende Nutzer in den Entwicklungsprozess eingebunden. Lead User zeichnen sich dadurch aus, dass sie Bedürfnis- und Lösungsinformation zu einem Problemfeld in sich vereinen und so einen entscheidenden Beitrag zur nutzergerechten Lösungsfindung beitragen können. Lead-User verfügen über eine hohe Technikaffinität, eine hohe Lösungsfindungskompetenz und die Fähigkeit, Bedeutungsräume zu abstrahieren und in die Zukunft zu projizieren.
- **Personas:** Personas sind archetypische Nutzer. Sie repräsentieren als einzelne Person stellvertretend eine Zielgruppe und charakterisieren diese in ihren Merkmalen. Personas werden mit einem Namen, einem Gesicht, einer Funktion, einem Werdegang und einem Privatleben versehen. Sie verfügen über Ziele und Verhaltensweisen, haben Vorlieben und Erwartungen. Die Erstellung von Personas dient der Visualisierung von Forschungserkenntnissen und unterstützt dabei, potenzielle Zielgruppen zu erkennen und besser beschreiben zu können.
- **User Story Mapping:** Eine User Story beschreibt eine zeitliche Abfolge von Situationen, bei denen ein Nutzer mit einem System interagiert, aus der Nutzerperspektive. Die Betonung der Nutzerperspektive und die grafische Aufbereitung in Form einer Experience Map erleichtert es den Projektbeteiligten, sich die Nutzung des zukünftigen Systems besser vorzustellen und sich über Nutzungsanforderungen auszutauschen.

Diese qualitativen Analyse- und Erhebungsmethoden wurden als Methodenset festgelegt und kamen im Rahmen der Anforderungsanalyse in AP 1.1 und der Crowdsourcing-Studie in AP 9a.1 zum Einsatz.

## 7.2 Anforderungsdefinition (AP 1.1)

Das Verständnis der Nutzerbedürfnisse und das Ableiten der daraus resultierenden Erfordernisse und Nutzungsanforderungen bildet einen Grundbaustein der menschenzentrierte Gestaltung und beeinflusst damit die Usability und die User Experience.

Im Fokus des AP 1.1. standen dementsprechend der Nutzer, dessen Bedürfnisse und Anforderungen. Im Zuge dessen sollten zukünftige Nutzergruppen identifiziert, Bedürfnisse der relevanten Zielgruppen aufgedeckt, Verständnis über den Kontext der Nutzung des Produktes geschaffen und Rückschlüsse auf Produkthanforderungen gezogen werden.

Mit Hilfe der in AP 1.2 festgelegten Methoden wurden die Nutzerbedürfnisse im Kontext von personalisierten, adaptiven und kooperativen Fahrerassistenzfunktionen durch umfangreiches Desk Research und qualitative Tiefeninterviews analysiert. Das Ziel bestand darin, die Erkenntnisse für die weitere Verwendung im Rahmen der nutzerzentrierten Konzeption des adaptiven, kooperativen Systems aggregiert in Form von Persona-Beschreibungen aufzubereiten.

### **Methode**

In einer umfangreichen Desk Research-Phase wurden empirische Informationen bereits durchgeführter Studien zu Erwartungen und Nutzungsanforderungen an teil- und hochautomatisierte Fahrzeuge analysiert. Hierdurch wurde gewährleistet, die Nutzungskontextanalyse auf ein breites empirisches Fundament zu stellen und die Validität der gewonnenen Informationen zu erhöhen. Ein wichtiger Aspekt der Desk Research-Phase war die Ableitung von Fahrertypen für die Nutzung teil- und hochautomatisierter Fahrzeuge, um auf dieser Basis gezielt Teilnehmer für die qualitativen Tiefeninterviews rekrutieren zu können.

Anschließend an die Desk Research-Phase wurden 10 qualitative Tiefeninterviews von 60 – 90 Minuten Dauer durchgeführt, um weitere Informationen zu den spezifischen Aspekten des PAKoS-Forschungsprojekts zu erhalten. Themenschwerpunkte waren Umgang und Nutzung aktueller Fahrerassistenzsysteme, „Charaktereigenschaften“ aktueller Fahrerassistenzsysteme, Emotionen als Beifahrer, Autonomes Fahren, Rollenverteilung zwischen Nutzern und Fahrzeug, benötigte Informationen während der Fahrt und die Übergabe der Fahraufgabe vom Fahrer an das Fahrzeug und andersherum. Die Methode eines kontextuellen Interviews wurde für die vorliegende Fragestellung nicht ausgewählt, da das Erleben einer hochautomatisierten Fahrt im Nutzungsalltag der Interviewpartner derzeit nicht darstellbar ist.

### **Ergebnisse**

Mit den vertiefenden Erkenntnissen aus den Tiefeninterviews und den empirischen Daten der Desk Research-Phase wurden die ermittelten Fahrertypen in Persona-Beschreibungen überführt, die im weiteren Projektverlauf die zu adressierenden Nutzer des personalisierten, adaptiven und kooperativen Systems repräsentieren sollen. Personas geben den Fahrertypen ein Gesicht, sodass alle Projektbeteiligten eine Vorstellung über die späteren Benutzer des Systems, deren Eigenschaften, Motivation und Ziele entwickeln können. Der Einsatz von Personas hilft dabei, fundierte Entscheidungen bei der Entwicklung nutzerfreundlicher Produkte zu treffen.

Drei unterschiedliche Fahrertypen sollten für die Auslegung eines personalisierten, adaptiven und kooperativen Systems für automatisierte Fahrzeuge unterschieden werden:

- **Sportliche/schnelle Fahrer:** Dieser Gruppe ist die Selbstbestimmung/das Leben des individuellen Fahrstils sehr wichtig. Deshalb haben diese Personen Probleme mit der Vorstellung eines vollständig autonom fahrenden Fahrzeugs. Eher vorstellbar ist die Unterstützung in kritischen Fahrsituationen oder bei Bedarf.

Persona 1

## S. Selbstbewusst

41, Vertriebler/in im Außendienst



- Vielfahrer
- Wagen der oberen Mittelklasse mit FAS-Vollausstattung
- Kundenbesuche ausschließlich mit persönlichem Firmenfahrzeug
- In Freizeit spielt das Auto eine große Rolle
- Will sich selbstbestimmt fortbewegen
- Nach Lust und Laune auch mal sportlich-aggressiv fahren
- Assistenz durch autonomes System nur bei Bedarf (Müdigkeit/Ablenkung)
- Auf keinen Fall darf das System sportliches Fahren verhindern

Abbildung 1: Auszug Persona-Beschreibung "Selbstbewusst"

- **Vorausschauende/ruhige Fahrer:** Ihr vorausschauender und ruhiger Fahrstil kommt dem vermuteten Fahrstil von autonomen Fahrzeugen am nächsten, daher gut vorstellbar ein autonomes Fahrzeug zu fahren

Persona 2

## A. Ausgeglichen

36, berufstätig, Geschäftsreisende/r



- Vielfahrerin
- Pendelwege zwischen verschiedenen Standorten ihres Arbeitgebers
- Nutzt regelmäßig unterschiedliche Dienstfahrzeuge aus dem Firmenpool
- Privat fährt A. einen Kleinwagen eines Premiumherstellers
- Hat gute Erfahrungen mit aktuellen FAS gesammelt

Abbildung 2: Auszug Persona-Beschreibung "Ausgeglichen"

- **Defensive und vorsichtige Fahrer:** Insbesondere Unterstützung in kritischen Fahrsituationen oder in Situationen, die für Unsicherheit sorgen, gewünscht.

Persona 3  
**V. Vorsichtig**  
 57, nicht mehr berufstätig



- Kleinwagen (gebraucht oder neu) mit FAS-Grundausstattung wie z.B. Tempomat
- Fährt gern Auto
- Lebenspartner/in fährt ein neues Fahrzeug der Ober-/Mittelklasse mit guter Ausstattung
- Mittlerweile ungern auf unbekanntem Strecken allein unterwegs
- Probleme bei Nachtfahrten und Fahrten bei schwierigen Wetterbedingungen durch eingeschränkte Sicht
- Assistenz durch ein autonomes System kann sich V. nicht vorstellen

Abbildung 3: Auszug Persona-Beschreibung "Vorsichtig"

Im Rahmen eines gemeinsamen Nutzungskontext-Workshops wurden die Analyseergebnisse im Projektteam vermittelt und mit Hilfe eines User Story Mappings vertieft. Hierbei wurden einzelne Handlungsschritte einer für die jeweiligen Persona relevanten Aufgabe detaillierte dargestellt und in einer zeitlichen Abfolge visualisiert.

Aus den Tiefeninterviews wurden Erfordernisse und Nutzungsanforderungen abgeleitet, um sie für die zielgerichtete und nutzergerechte Konzeption des adaptiven und personalisierten Systems zur Verfügung zu stellen. Die folgende Tabelle zeigt die ermittelten Nutzungsanforderungen:

<b>Nutzungsanforderungen an die Personalisierung von Fahrerassistenzfunktionen und die Adaptivität der Fahrerübergabe</b>
Der Benutzer muss am System erkennen können, welche Assistenzfunktionen ihm zur Verfügung stehen.
Der Benutzer muss am System erkennen können, wann ihm situativ eingeschränkte Assistenzfunktionen zur Verfügung stehen.
Der Benutzer muss am System erkennen können, wie Assistenzfunktionen eingeschaltet werden können.
Der Benutzer muss am System erkennen können, welche Assistenzfunktionen aktiv sind.
Der Benutzer muss am System die gewünschten Assistenzfunktionen einschalten können.
Der Benutzer muss am System erkennen können, dass ihm die Fahraufgabe übertragen wird.
Der Benutzer muss am System erkennen können, für welchen Teil der Fahraufgabe er die Verantwortung trägt.
Der Benutzer muss am System das Regelverhalten der Assistenzfunktionen situativ an die Umgebungsbedingungen anpassen können.
Der Benutzer muss am System die Sollgeschwindigkeit einstellen können.

Der Benutzer muss am System erkennen können, wie lange ihm Assistenzfunktionen zur Verfügung stehen.
Der Benutzer muss am System die nicht gewünschten Assistenzfunktionen ausschalten können.
Der Benutzer muss am System erkennen können, dass durch die Systemnutzung personenbezogene Daten erhoben werden.
Der Benutzer muss am System, die gespeicherten personenbezogenen Daten löschen können.
Der Benutzer muss am System erkennen können, welches personenbezogene Profil aktiv ist.
Der Benutzer muss am System ein neues Profil anlegen können.
Der Benutzer muss am System ein anderes Profil auswählen können.
Das System muss Eingaben des Benutzers erfassen und sie einem persönlichen Profil zuordnen können.
Das System muss erfassen können, ob ein assistiertes Fahrmanöver aus Sicht des Benutzers zufrieden-stellend durchgeführt wurde.
Das System muss Profilm Merkmale auf andere Fahrzeuge übertragen können.

*Tabelle 3: Nutzungsanforderungen an die Personalisierung von Fahrerassistenzfunktionen und die Adaptivität der Fahrerübergabe*

Wichtig ist zu beachten, dass der Kenntnisstand zu verfügbaren Assistenzsystemen, deren Funktionsweise und Bedienung je nach Nutzergruppe und je nach Vorerfahrung stark variiert. Die Personalisierung von Assistenzsystemen sollte daher hier ansetzen und die Funktionsweisen und Interaktionsmöglichkeiten auf Basis personenbezogener Profile so anpassen, dass allen Nutzergruppen eine sichere, häufige und komfortable Nutzung der Assistenzsysteme fahrzeugübergreifend ermöglicht wird.

### 7.3 Erfassung von Nutzertätigkeiten während der automatisierten Fahrt (AP 9a.1)

AP 9a.1 fokussierte auf die (zukünftigen) Nebentätigkeiten während der automatisierten Fahrt. Unter Einsatz des in AP 1.2 definierten Methodensets wurde eine Liste an Nebentätigkeiten erstellt, die zukünftig von Nutzern während einer automatisierten Fahrt ausgeübt werden. Ziel war die Aggregation und anschließende Auswahl relevanter Nutzertätigkeiten für den weiteren Projektverlauf.

#### Rahmenbedingungen

Im Rahmen einer Crowdsourcing-Studie wurden halb-standardisierte Telefoninterviews mit Lead Usern geführt, um zu erfahren, welche Nebentätigkeiten während einer automatisierten Fahrt für Nutzer relevant sein könnten und welche Aspekte bei der Ausübung dieser Nebentätigkeit zu beachten sind. Die Interviewdaten wurden inhaltsanalytisch ausgewertet und aufbereitet.

#### Methode

Die Interviewpartner für die Crowdsourcing-Studie wurden mit Hilfe eines speziellen Screening-Fragebogens nach den Kriterien der Lead User Methode rekrutiert. Die fehlende Erlebbarkeit teil- und hochautomatisierter Fahrzeuge macht es notwendig, einen alltäglichen Umgang mit solchen Systeme zu abstrahieren und das eigene Verhalten in eine Zukunft mit automatisierten Fahrzeugen zu projizieren. Auf diese Weise lassen sich fundierte und reflektierte Erkenntnisse zu möglichen Nebentätigkeiten während einer teil- oder hochautomatisierten Fahrt erzielen, wie es im Rahmen von Imaginationsübungen mit „gewöhnlichen“ Autofahrern nicht der Fall ist.

Mit Hilfe der Methode „User Story Mapping“ gelang es, einzelne funktionale Aspekte in den Nutzungskontext einzubetten und im Projektteam die Perspektive des späteren Nutzers zu betonen. Die Projektbeteiligten konnten sich mögliche Nebentätigkeiten auf diese Weise lebhaft vor Augen führen und die nutzerrelevanten Aspekte nachvollziehen. Durch diese Betonung der Nutzerperspektive konnten erste funktionale Lösungsansätze zu einzelnen Nutzungsanforderungen bereits im Workshop einfach überprüft und nicht zielführende Konzeptansätze in einer gemeinsamen Diskussion an der User Story Map schnell aufgedeckt werden.

Die relevanten Nebentätigkeiten wurden im Workshop den in AP 1.1 entwickelten Personas zugeordnet, um auch hier die Kontextualität und damit die Nachvollziehbarkeit der Tätigkeit und der damit verbundenen Nutzungsanforderungen zu erhöhen.

## Ergebnis

Die aggregierte Nebentätigkeitenliste kann der nachstehenden Tabelle entnommen werden:

<b>Nebentätigkeiten</b>
• Video-Streaming (Filme / Serien)
• Lesen
• Musik / Hörbücher hören
• Spielen (Offline / Online)
• Arbeiten / Weiterbilden
• Kommunizieren (Telefonieren / Chatten)
• Shopping
• Essen / Trinken
• Surfen
• Schlafen
• Entspannen / Meditieren / Träumen
• Planen / Organisieren / Termine verwalten
• Social Media
• Nachrichten (News) lesen
• Haushalt organisieren
• Pflege / Hygiene (Frisieren / Make-up auflegen)
• Fitness / Sport
• Kreativ werden

*Tabelle 4: Nebentätigkeiten bei automatisierter Fahrt*

In einem nächsten Schritt wurden die Ergebnisse in einem gemeinsamen Auswerteworkshop mit allen Projektpartnern vorgestellt, diskutiert und für die weitere Verwendung in den folgenden Arbeitspaketen aufbereitet.

## 7.4 Nutzerstudien und Evaluation im Simulator (7. AP 9a.2 und AP 9a.4-5)

Das Spiegel Institut unterstützte die TU München und das KIT bei der Planung, Organisation, Durchführung und Auswertung der in diesem Rahmen durchgeführten Simulator Studien. Im Fokus stand dabei die Betreuung der methodischen Konzeption. Insgesamt wurden zwei Studien im Fahr Simulator durchgeführt, die sich auf das neuartige Konzept für den Kontrollübergang des automatisierten Fahrmodus zum manuellen Fahren als Teil der Degenerationsstrategie eines SAE-Level-3-Fahrzeugs konzentrierten.

Die erste Simulatorstudie fokussierte insbesondere auf das HMI des automatisierten Fahrzeuges. Das Ziel bestand darin, das System durch eine individuelle Personalisierung zu verbessern.



Abbildung 4: Statischer Fahr Simulator des Lehrstuhls für Ergonomie der TU München (Bildquelle: TUM 2020).

Die zweite Simulatorstudie konzentrierte sich auf die Untersuchung verschiedener Optionen der Lenkungsunterstützung in der Übergangsphase der Kontrollübernahme durch den Fahrer. Das HMI variierte dabei nicht - jeder Teilnehmer erlebte das gleiche Anzeigenkonzept, um den Fokus der

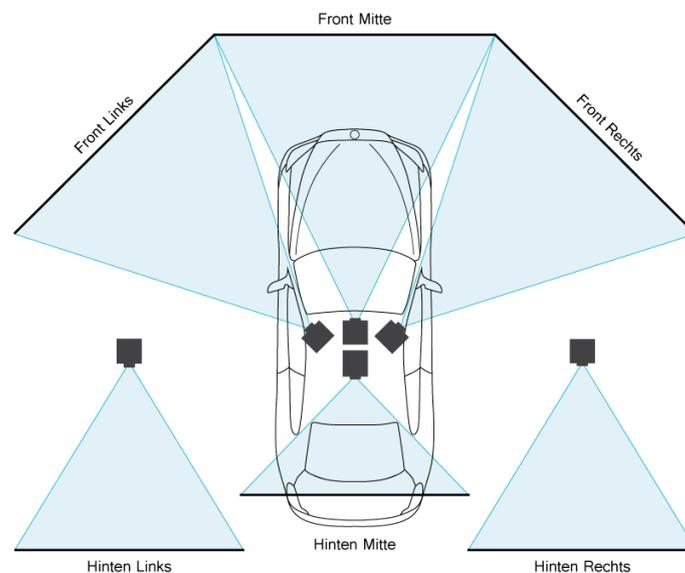


Abbildung 5: Schematischer Aufbau des Fahr Simulators (Bildquelle: TUM 2020).

Wahrnehmung auf die Lenkunterstützung zu setzen. Die Lenkungsunterstützung bestand aus den folgenden Kategorien:

- **Standard (S):** allmähliche Abnahme der Lenkunterstützung
- **Manuell (M):** manuelle Einstellung der Lenkunterstützung durch den Fahrer über montierte Kupplungspaddel am Lenkrad
- **Reglerbasiert-Adaptiv (R):** automatische Anpassung der vom Controller ausgeführten Lenkunterstützung basierend auf dem vorgeschlagenen Konzept zur Schätzung des Parameters

Studie I	TOR Szenario	Streckenprofil	Reglerentwurf mit Abschaltzeitpunkten	HMI Variante
<b>Fahrt 1</b>	kritisch Hindernis auf eigenem Fahrstreifen	mittlerer Fahrstreifen gerader Streckenverlauf	<b>Längs:</b> sofort mit TOR <b>Quer:</b> sofort mit TOR	Baseline
<b>Fahrt 2 (Zwischen- fahrt)</b>	kritisch Hindernis auf eigenem Fahrstreifen	rechter Fahrstreifen gerader Streckenverlauf	<b>Längs:</b> sofort mit TOR <b>Quer:</b> sofort mit TOR	Baseline
<b>Fahrt 3</b>	kritisch Hindernis auf eigenem Fahrstreifen	mittlerer Fahrstreifen gerader Streckenverlauf	<b>Längs:</b> sofort mit TOR <b>Quer:</b> standard graduell (S) mit Hands-On Signal	Baseline
<b>Fahrt 4</b>	kritisch Hindernis auf eigenem Fahrstreifen	mittlerer Fahrstreifen gerader Streckenverlauf	<b>Längs:</b> sofort mit TOR <b>Quer:</b> standard graduell (S) mit Hands-On Signal	Nutzer-/Service- /Funktionsorientiertes HMI

Tabelle 5: Versuchsplan Simulatorstudie I

Studie II	TOR Szenario	Streckenprofil	Reglerentwurf mit Abschaltzeitpunkten
<b>Fahrt 1</b>	kritisch Hindernis auf eigenem Fahrstreifen	mittlerer Fahrstreifen gerader Streckenverlauf	<b>Längs:</b> sofort mit TOR <b>Quer:</b> standard graduell (S) mit Hands-On Signal
<b>Fahrt 2 (Zwischen- fahrt)</b>	kritisch Fahrstreifen folgen notwendig, kein Hindernis	rechter Fahrstreifen Rechtskurve	<b>Längs:</b> sofort mit TOR <b>Quer:</b> reglerseitig-adaptiv graduell (R) mit Hands-On Signal
<b>Fahrt 3</b>	kritisch Hindernis auf eigenem Fahrstreifen	mittlerer Fahrstreifen gerader Streckenverlauf	<b>Längs:</b> sofort mit TOR <b>Quer:</b> fahrerseitig-adaptiv graduell (M) mit Hands-On Signal
<b>Fahrt 4</b>	kritisch Hindernis auf eigenem Fahrstreifen	mittlerer Fahrstreifen gerader Streckenverlauf	<b>Längs:</b> sofort mit TOR <b>Quer:</b> reglerseitig-adaptiv graduell (R) mit Hands-On Signal

Tabelle 6: Versuchsplan Simulatorstudie II

## Rahmenbedingungen

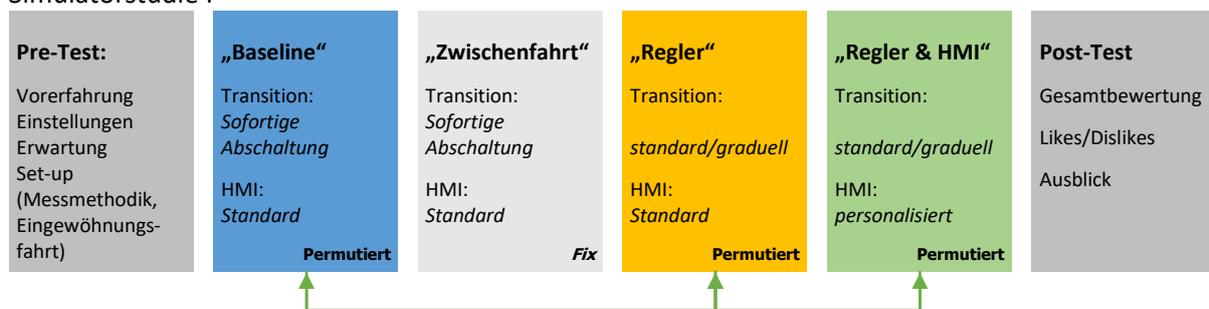
Die im Rahmen der Anforderungsanalyse ermittelten Szenarien zur Interaktion eines Nutzers mit einem kooperativen, adaptiven Systems im Rahmen einer automatisierten Fahrt und die relevanten Nebentätigkeiten wurden für das AP 9 in ein Versuchsdesign überführt. Ziel war die Entwicklung eines Versuchsdesigns, das im Fahrsimulator des Lehrstuhls für Ergonomie der TU München durchgeführt werden kann, und die verschiedenen Erkenntnisinteressen der Projektpartner möglichst vereint.

Festgelegt wurde ein Versuchsablauf aus vier Modulen mit vorangestelltem Pre-Test zur Erhebung von Vorerfahrungen, Einstellung und Erwartungen der Evaluationsteilnehmer an das interaktive System, sowie eine kurzen Einführung in den Fahrsimulator und eine Eingewöhnungsfahrt. Der abschließende Post-Test umfasst eine Gesamtbewertung des getesteten Systems aus Sicht des Teilnehmers.

Um die Wirksamkeit des HMI in der ersten Simulatorstudie zu evaluieren, erlebten die Teilnehmer eine kritische Fahrsituation (einem Hindernis ausweichen) sowohl mit personalisiertem HMI mit Lenkunterstützung („Regler & HMI“) als auch mit einem standardisierten HMI mit Lenkunterstützung („Regler“). Als Vergleichsfahrt erlebten die Teilnehmer die gleiche Ausweichsituation ohne HMI-Anpassung und ohne Lenkunterstützung („Baseline“). Um Lerneffekte zu vermeiden, erlebten die Teilnehmer eine Zwischenfahrt wie in der „Baseline“, jedoch mit anderem Streckenprofil („Zwischenfahrt“ auf der rechten Fahrspur). Zudem wurde die Abfolge der Fahrten „Baseline“, „Regler“ und „Regler & HMI“ permutiert.

In der zweiten Simulatorstudie wurden die Fahrten ebenfalls permutiert, dabei unterschieden sich die Fahrten in den drei Varianten der Lenkunterstützung. Alle Teilnehmer erlebten die Ausweichsituation mit einem funktionsorientierten HMI.

### Simulatorstudie I



### Simulatorstudie II

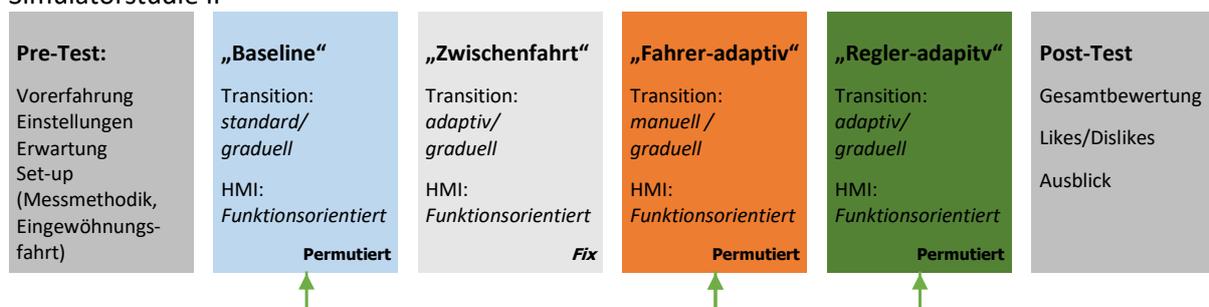


Abbildung 6: Übersicht Versuchsablauf für AP 9a.4

### *Prüfzszenarien*

Innerhalb der vier Module werden verschiedene Szenarien durchlaufen, in denen der Einfluss verschiedener Interaktions- und Nutzerschnittstellenkonzepte sowie individueller Merkmale auf die automatisierte Fahrt untersucht werden. Im Fokus standen dabei Übernahmepersistenz und Kooperationsqualität, sowie Usability und Akzeptanz.

Durch die unterschiedlichen Szenarien wurde der Fokus dabei auf die individuellen Vorerfahrungen der Nutzer, auf eine gewollte Fahrerübernahme, auf situativen Unterstützungsbedarf und auf die persönliche Leistungsfähigkeit gelegt.



Abbildung 7: Beispiel für ein Prüfzszenario: Situativer Unterstützungsbedarf (Bildquelle: <https://www.technik-zum-menschen-bringen.de/bilder/projekte/pakos.png>)

Als geeignete Szenarien wurden eine dichtbefahrene Stadtautobahn und eine Stadtautobahn mit Hindernis (in Form eines stehenden Autos) gewählt. Das Hindernis (ohne „Car-to-Infrastructure“ Kommunikation) sowie die dichtbefahrene Stadtautobahn stellen eine gezielte Grenze der Außenraumsensorik im Versuchsaufbau bzw. eine Grenze der Systemausprägung dar. Beide erfordern eine Transition von Teilen der Fahraufgabe an den Fahrer zur kooperativen Lösung des Problems (etwa bei einer Fahrbahnverengung oder einem notwendigen Fahrstreifenwechsel). Beide Fallbeispiele sind personalisierbar und gleichzeitig – in ihrer Komplexität hinsichtlich des Aufbaus eines kooperativen Szenarios – simulier- und beherrschbar, da sich die Heranführung der Verkehrsteilnehmer an die Situation in einem Zeitraum von ca. 3-5 Minuten pro Testfall bewegte.

### *HMI Entwicklung*

Die Designvarianten des HMI basierten auf der Kategorisierung der Fahrertypen. Für jede Fahrergruppe wurde eine spezifische HMI auf der Grundlage der Bedürfnisse und Präferenzen entwickelt (adaptive HMI): funktionsorientiert (FO), nutzungsorientiert (NO) oder serviceorientiert (SO). Ein funktionsorientiertes (FO) HMI enthält die meisten Informationen über den Systemstatus. Im Gegensatz dazu wurden die auf der Basis-HMI gezeigten Informationen auf ein Minimum reduziert. Selbstbewusste Fahrer wurden der FO-Gruppe zugeordnet, was ihrem relativ hohen technischen Interesse am Fahren entspricht. Ausgewogene und vorsichtige Fahrer zeichnen sich hingegen durch ein geringeres Technikinteresse aus. In Übereinstimmung mit den Bedürfnissen dieser beiden Fahrertypen wurden die ausgewogenen Fahrer der Gruppe zugeordnet, die das

benutzerorientierte (NO) HMI sehen, und die vorsichtigen Fahrer der Gruppe mit einem serviceorientierten (SO) HMI. Die SO-Gruppe hatte die gleiche HMI wie die UO-Gruppe, jedoch mit der zusätzlichen Möglichkeit von Sprachbefehlen.



(a)

(b)

HMI im Modul "Baseline" (BASE) bei (a) aktivierter Automation und (b) bei einer Übernahmeaufforderung



(a)

(b)

Funktionsorientiertes HMI (FO) bei (a) aktivierter Automation und (b) bei einer Übernahmeaufforderung.



(a)

(b)

Service- und Nutzerorientiertes HMI (NO) bei (a) aktivierter Automation und (b) bei einer Übernahmeaufforderung, im serviceorientierten HMI

Abbildung 8: Personalisierte HMI

## Methode

Mithilfe eines Probanden-Screenings kann ein systematisches Testverfahren eingesetzt werden, um für die Studie diejenigen Personen zu finden, die die gesuchten Eigenschaften aufweisen. Dazu werden die Personen zu ihren Einstellungen und persönlichen Daten befragt und diejenigen Personen eingeladen, die den Kriterien entsprechen. Die geltenden Kriterien entsprechen den Profilen der in AP 1.1 entwickelten Personas.

Um eine effiziente Einteilung der Personen zu den erstellten Personas zu erlauben, wurde vom Spiegel Institut eine Methodik entwickelt, die aufgrund der gemachten Antworten eine Einstufung der Person zu einer Persona vorschlägt.

		Stefan Selbstbewusst	Anette Ausgeglichen	Veronika Vorsichtig
<b>Hauptkriterien (doppelte Gewichtung)</b>	<b>Wert</b>	<b>Passung zu Gruppe 1</b>	<b>Passung zu Gruppe 2</b>	<b>Passung zu Gruppe 3</b>
Jährliche Fahrleistung	bis 20.000 km/Jahr	100%	100%	0%
Fahrstil sportlich vs. sparsam	1 (sportlich)	100%	50%	0%
Rolle Fahrzeug: Ungern alleine unbekannte Strecken	- (stimme nicht zu)	100%	100%	0%
<b>Nebenkriterien (einfache Gewichtung)</b>	<b>Wert</b>	<b>Passung zu Gruppe 1</b>	<b>Passung zu Gruppe 2</b>	<b>Passung zu Gruppe 3</b>
Altersgruppen	über 65 Jahre	50%	50%	100%
Fahrzeugklasse	Kompaktvan	0%	0%	0%
FAS: Nutzungshäufigkeit Tempomat	4 (gelegentlich genutzt)	100%	100%	0%
<b>Passung nach Haupt- u. Nebenkriterien (gewichtet)</b>		<b>83%</b>	<b>72%</b>	<b>11%</b>

Tabelle 7: Tool zur Persona-Passung

Im Rahmen der AP 9a.2 und AP 9a.4-5 übernahm das Spiegel Institut die Screenererstellung und unterstützte ebenfalls in der Persona-Zuordnung. Die Rekrutierung, Organisation und Koordination der Studienteilnehmer im Simulator fanden durch die TU München statt.

Zur Operationalisierung der geplanten Prüf Szenarien konnten nach umfassender Recherchearbeit geeignete Skalen zur Messung von Usability- und Akzeptanzaspekten zu personalisierten Assistenzfunktionen ausgewählt werden. In dieser Phase des Desk-Researchs wurden aus vorliegenden Studien zum automatisierten Fahren bereits passende Skalen zur Abfrage des Erlebens und der Situationsbewertung ausgewählt. Diese Skalen wurden in mehreren Vorstudien mit jeweils mindestens 30 Probanden evaluiert.

#### *Situationsbewertung/Beherrschbarkeit*

Um die Wirkung eines personalisierten und adaptiven Systems zu messen, wurden auch Skalen zum subjektiven Empfinden der kritischen Situation eingesetzt. Damit kann abgeschätzt werden, inwiefern eine Anpassung von Fahrstil, Meldungen und Anzeigen dazu beiträgt, ein angemessenes Situationsempfinden zu fördern. Zudem können diese Kriterien in Zusammenhang mit den objektiven Messdaten zur Beurteilung der Beherrschbarkeit herangezogen werden:

- **Qualitative Abfrage zur erlebten Unterstützung:** In einer offenen Abfrage wird der Proband direkt nach dem Prüf szenario über die ggf. erlebte Unterstützung des Systems befragt. Der Proband sollte dazu beschreiben, was er in diesem Szenario erlebt hat, ob es eine Systemreaktion gab und welche Handlungen er selbst vornahm. Sofern der Teilnehmer eine Unterstützung beim Fahrzeug wahrgenommen hat, sollte er diese ausführlich beschreiben. Diese subjektiven Beschreibungen konnten im Anschluss mit den objektiven Daten der Systemreaktionen abgeglichen werden.
- **Skala zur Bewertung der Kritikalität von Fahr- und Verkehrssituationen:** Der Proband kann zunächst in klar definierte Kategorienbereiche die Situation dahingehend einordnen, wie tolerierbar er diese unter Aspekten der Fahr- und Verkehrssicherheit hält. Vorteilhaft für den Probanden ist dabei, dass er sich durch wenige Skalenpunkte (<7) leicht orientieren kann und trotzdem eine differenzierte Bewertung abgeben kann. Die Kategorienbereiche erlauben eine Definition einer subjektiven Toleranzgrenze, welche bei anderen Instrumentarien der Beanspruchungsmessung nicht immer gegeben ist.
- **Polaritätenprofile/Semantisches Differential:** Anhand von recherchierten bipolaren Adjektivpaaren aus Vorstudien kann der Proband die Situation auf einer fünfstufigen Rating-Skala bewerten. Die Anwendung des Verfahrens des semantischen Differentials erlaubt es Einstellungen und Emotionen des Probanden zu erfassen und damit die konnotative (assoziative) Bedeutung der Situation. Aus Faktorenanalysen ergab sich, dass die drei bedeutsamsten Polaritäten sich auf den Dimensionen Evaluation, Intensität/Potenz und

Aktivität abbilden lassen. Durch Rechercharbeiten konnten folgende Adjektivpaare als relevant für den Kontext im Sinne der drei o.g. Dimensionen erarbeitet und durch Vorstudien validiert werden. Im ersten Skalenblock wird die Situation anhand der Dimensionen Evaluation (angenehm-unangenehm) und Intensität/Potenz (stark-schwach) bewertet. Der zweite Skalenblock orientiert sich an der Dimension Aktivität und erlaubt zu beschreiben, wie erregend oder beruhigend der Proband die Situation erlebt hat.

Die gerade erlebte Ausweichsituation empfand ich...								
	Sehr	Eher	Etwas	Weder noch	Etwas	Eher	Sehr	
angenehm	o	o	o	o	o	o	o	unangenehm
gefährlich	o	o	o	o	o	o	o	harmlos
beherrschbar	o	o	o	o	o	o	o	nicht beherrschbar
Bedrohlich	o	o	o	o	o	o	o	unkritisch
nachvollziehbar	o	o	o	o	o	o	o	unverständlich
vorhersehbar	o	o	o	o	o	o	o	überraschend

Tabelle 8: Semantisches Differential Situationsempfinden

In der gerade erlebten Ausweichsituation fühlte ich mich...								
	Sehr	Eher	Etwas	Weder noch	Etwas	Eher	Sehr	
Sicher	o	o	o	o	o	o	o	unsicher
angespannt	o	o	o	o	o	o	o	entspannt
unterfordert	o	o	o	o	o	o	o	überfordert
Souverän	o	o	o	o	o	o	o	orientierungslos

Tabelle 9: Semantisches Differential Gefühlsempfinden

### Skala zur Usability

Um die Gebrauchstauglichkeit des Systems zu erfassen, werden Aspekte zur Intuitivität und Verständlichkeit von Meldungen und Anzeigen des Systems mit Hilfe einer eigens entwickelten Skala abgefragt. Die Skala besteht aus 12 Items, die anhand von siebenstufigen Likertskalen (1 = Starke Ablehnung, 7 = Starke Zustimmung) bewertet werden. Um die Nutzertauglichkeit von Meldungen und Anzeigen des Systems zu bewerten wurden die Items angelehnt an die Dialogprinzipien der ISO 9241-11, sowie an die Grundprinzipien nutzerzentrierter Entwicklung konstruiert. Neben den Dialogprinzipien Aufgabenangemessenheit, Erwartungskonformität und Individualisierbarkeit, wurden Aspekte zur Intuitivität, Handlungsleitungsfähigkeit und dem mentalen Modell des Probanden abgefragt.

	Starke Ablehnung	Ablehnung	Leichte Ablehnung	Neutral	Leichte Zustimmung	Zustimmung	Starke Zustimmung	Nichts wahrgenommen
Die Meldung (Anzeige und Ausgabe) des Systems empfand ich der Situation angemessen.	0	0	0	0	0	0	0	0
Die Meldung (Anzeige und Ausgabe) empfand ich als leicht verständlich.	0	0	0	0	0	0	0	0
Die Meldung (Anzeige und Ausgabe) war für mich leicht umsetzbar.	0	0	0	0	0	0	0	0
Die Meldung (Anzeige und Ausgabe) des Systems wurde im richtigen Moment ausgegeben.	0	0	0	0	0	0	0	0
Ich wusste sofort, was ich tun musste, nachdem die Meldung angezeigt/ausgegeben wurde.	0	0	0	0	0	0	0	0
Ich wusste sofort, was das System tut, nachdem die Meldung angezeigt/ausgegeben wurde.	0	0	0	0	0	0	0	0
Mit Hilfe der Meldung (Anzeige und Ausgabe) war mir die (Gefahren-) Situation sofort bewusst.	0	0	0	0	0	0	0	0
Den Informationsgehalt der Meldung (Anzeige und Ausgabe) empfand ich angemessen.	0	0	0	0	0	0	0	0
Die Meldung (Anzeige und Ausgabe) des Systems hat einen angemessenen Lösungsvorschlag geliefert.	0	0	0	0	0	0	0	0
Die Meldung (Anzeige und Ausgabe) des Systems war sich mit dem Lösungsvorschlag sicher.	0	0	0	0	0	0	0	0
Ich wollte mich der Meldung (Anzeige und Ausgabe) des Systems widersetzen.	0	0	0	0	0	0	0	0
Es wäre mir schwer gefallen meinen Willen gegen das System zu stellen.	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 10: Usability-Skala

### Versuchsleiterratings

Während des Prüf Szenarios erfolgte zur Bewertung der Beherrschbarkeit und des Verhaltens des Probanden während einer automatisierten Fahrt ein Versuchsleiterring anhand einer 10-stufigen Likert-Skala. Zu den Usability-Aspekten stuft der Versuchsleiter anhand dieser Skala die Leistung des Probanden ein, die Fahrfunktion zu aktivieren (Intuitivität), die Übernahmeaufforderung zu befolgen (Handlungsleitung). Zudem wurde das Verhalten der Probanden in der Ausweichsituation dokumentiert, indem das Ausmaß der Reaktion des Probanden auf das langsame Vorderfahrzeug eingestuft und das Ausmaß der Ausführung der Nebentätigkeit beobachtet wurde.

### Ergebnisse

In der ersten Studie wurden gültige Datensätze von 31 Fahrern erhoben. In dieser Studie gab es eine breite Altersspanne ( $M = 32,9$  Jahre,  $SD = 11,7$ ), da die Personalisierung der HMIs auf der Basis der drei Fahrergruppen von Interesse war. Unter den Teilnehmern befanden sich 13 Frauen und 18 Männer.

In der darauffolgenden zweiten Simulator-Studie wurden gültige Datensätze von 31 Fahrern erfasst, davon 5 weiblichen und 26 männlichen Geschlechts. Durchschnittsalter und Altersspanne sind geringer als in der ersten Simulator-Studie ( $M = 24,7$  Jahre,  $SD = 7,5$ ).

### HMI Personalisierung

Die Messung der Akzeptanz wurde durch das semantische Differential als auch über die Bewertung der Usability von Anzeige und Meldung erfasst. So ergab sich bereits in der ersten Simulatorstudie eine deutliche Verbesserung der Nachvollziehbarkeit einer Ausweichsituation mit einem

personalisierten HMI bei den Personas Selbstbewusst und Vorsichtig. Bei der Persona Ausgeglichen wurde die Situation tendenziell harmloser und unkritischer erlebt.

		Anteil TN					
Gruppe		Selbstbewusst		Ausgeglichen		Vorsichtig	
n		8		12		11	
Bewertung Situation	HMI	BASE	FO	BASE	NO	BASE	SO
(etwas/eher/sehr) angenehm		13%	38%	33%	17%	46%	100%
(etwas/eher/sehr) harmlos		25%	63%	17%	42%	27%	36%
(etwas/eher/sehr) beherrschbar		50%	75%	67%	50%	73%	64%
(etwas/eher/sehr) unkritisch		50%	75%	25%	42%	27%	36%
(etwas/eher/sehr) nachvollziehbar		88%	88%	75%	58%	55%	32%
(etwas/eher/sehr) vorhersehbar		38%	50%	25%	17%	36%	55%

Tabella 11: Semantisches Differential zur Situationsbewertung in der Ausweichsituation von Simulatorstudie I

Die Gefühlslage der Persona Ausgeglichen verschlechterte sich tendenziell durch eine HMI-Anpassung, wohingegen bei den Gruppen Vorsichtig und Selbstbewusst mit einer leichten Verbesserung des Gefühls einhergingen. Aufgrund der geringen Fallzahlen waren die Ergebnisse des semantischen Differentials nicht signifikant.

		Anteil TN					
Gruppe		Selbstbewusst		Ausgeglichen		Vorsichtig	
n		8		12		11	
Bewertung Gefühl	HMI	BASE	FO	BASE	NO	BASE	SO
(etwas/eher/sehr) sicher		50%	50%	67%	50%	45%	45%
(etwas/eher/sehr) entspannt		38%	38%	25%	17%	36%	55%
(etwas/eher/sehr) unterfordert		50%	25%	17%	8%	27%	36%
(etwas/eher/sehr) souverän		63%	63%	58%	50%	64%	64%

Tabella 12: Semantisches Differential zur Gefühlsbewertung in der Ausweichsituation von Simulatorstudie I

Es zeigte sich eine deutliche Verbesserung der Nutzerbewertungen hinsichtlich der gemessenen Usabilityaspekte durch eine Personalisierung des HMI in Kombination mit einem individuell identifizierten Fahrermodell im Vergleich zur Baseline und des rein kooperativen Fahrermodells ohne personalisiertem HMI. Hier zeigten sich die Unterschiede besonders bedeutsam in den Aspekten zur Intuitivität, zum mentalen Modell der aktuellen Situation, zur Aufgabenangemessenheit und zur Handlungsleitung.

Die selbstbewussten Fahrer in der FO-Gruppe ziehen den größten Nutzen aus der Personalisierung des HMI. Alle Benutzer zeigten tendenziell eine höhere Akzeptanz für das personalisierte HMI im Vergleich zum Basis-HMI, aber in der Regel nicht in einem signifikanten Ausmaß. Die Akzeptanz hatte sich im Kontext von drei Aussagen in der FO-Gruppe und bezüglich einer Aussage in der Gruppe der vorsichtigen Fahrer signifikant verbessert. Die selbstbewussten Fahrer (FO-Gruppe) bewerteten eine bessere Aneignung des HMI auf einem Signifikanzniveau von 10%. Darüber hinaus trug bei den

selbstbewussten Fahrern ein personalisiertes HMI dazu bei, das Situationsbewusstsein sowie das Bewusstsein, was sie als nächstes tun sollten, zu erhöhen. Ferner steigerte eine personalisierte HMI bei den vorsichtigen Fahrern das Vertrauen in das System erheblich.

Statement	Gruppe n	Mittelwert					
		Selbstbewusst 8		Ausgeglichen 11		Vorsichtig 11	
		HMI BASE	FO <sup>a</sup>	BASE	NO	BASE	SO
Die Meldung (Anzeige und Ausgabe) des Systems empfand ich der Situation angemessen.		4.1*	5.9*	5.7	5.3	4.5	5.0
Die Meldung (Anzeige und Ausgabe) empfand ich als leicht verständlich.		4.1	4.4	3.5	4.4	4.4	4.0
Die Meldung (Anzeige und Ausgabe) war für mich leicht umsetzbar.		4.5**	5.9**	4.6	5.3	4.5	4.5
Die Meldung (Anzeige und Ausgabe) des Systems wurde im richtigen Moment ausgegeben.		3.8	5.6	4.2	5.4	4.5	4.5
Ich wusste sofort, was ich tun musste, nachdem die Meldung angezeigt/ausgegeben wurde.		2.4	6.0	2.4	5.2	3.3	4.7
Ich wusste sofort, was das System tut, nachdem die Meldung angezeigt/ausgegeben wurde.		4.6**	5.4**	4.2	3.7	4.2	4.7
Mit Hilfe der Meldung (Anzeige und Ausgabe) war mir die (Gefahren-) Situation sofort bewusst.		5.3	6.0	5.1	5.6	4.5	4.9
Den Informationsgehalt der Meldung (Anzeige und Ausgabe) empfand ich angemessen.		2.8	6.1	3.1	4.9	3.9	4.2
Die Meldung (Anzeige und Ausgabe) des Systems hat einen angemessenen Lösungsvorschlag geliefert.		5.1**	6.3**	4.2	5.4	5.2	5.2
Die Meldung (Anzeige und Ausgabe) des Systems war sich mit dem Lösungsvorschlag sicher.		5.9	6.4	5.5	5.8	4.7	5.2
Ich wollte mich der Meldung (Anzeige und Ausgabe) des Systems widersetzen.		1.6	1.1	1.7	1.6	1.7	1.6
Es wäre mir schwer gefallen meinen Willen gegen das System zu stellen.		3.1	3.4	2.8	3.3	3.9**	4.1**

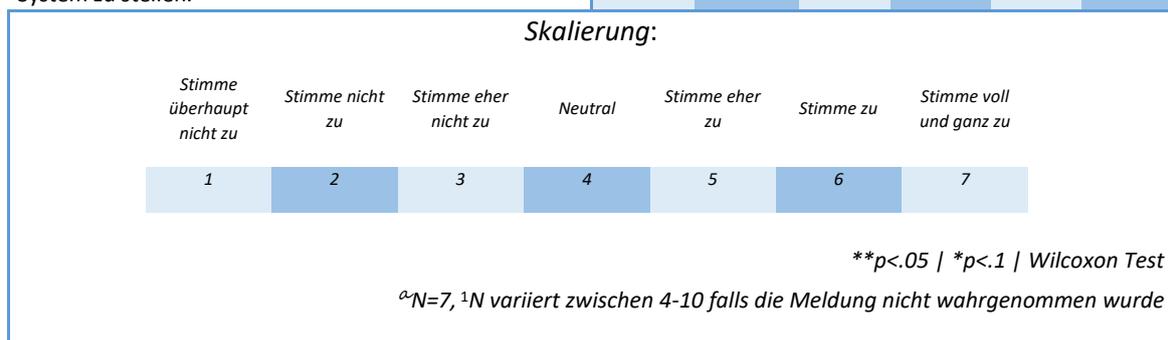


Tabelle 13: HMI-Bewertung in Simulatorstudie I

Es konnte gezeigt werden, dass die wahrgenommene Unterstützung („Hat das System Sie bei Ihrer Fahraufgabe unterstützt?“) tendenziell verbessert wurde. Die subjektive Wahrnehmung einer Systemunterstützung wurde zwar auch in der Fahrt ohne Reglerunterstützung relativ hoch bewertet. Tendenzuell wurde diese Wahrnehmung in allen drei Gruppen bei einer aktiven Reglerunterstützung verstärkt.

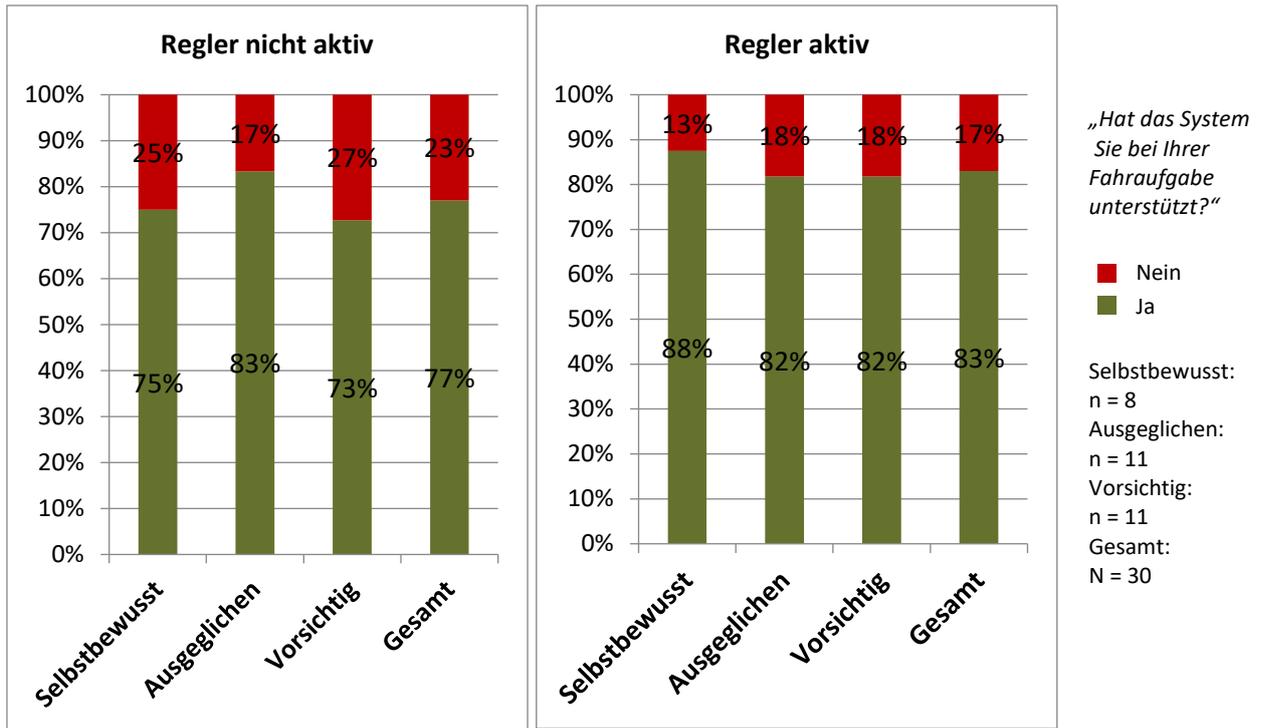


Abbildung 9: Simulatorstudie I: Wahrgenommene Systemunterstützung in Ausweichsituation

In der Einschätzung der Kritikalität der Situation wurde insbesondere durch die selbstbewusste Gruppe die Ausweichsituation mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter als 10% als weniger kritisch bewertet. Tendenziell wurde die Ausweichsituation bei aktiver Reglerunterstützung in allen drei Gruppen weniger kritisch bewertet als bei einer Ausweichsituation ohne Reglerunterstützung.

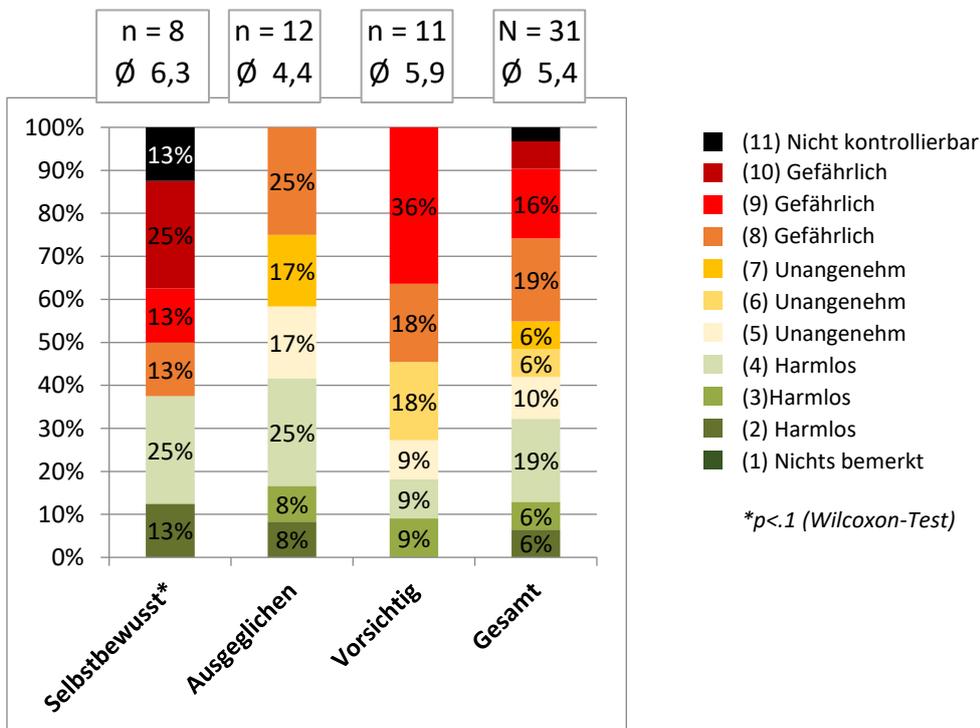


Abbildung 10: Subjektive Kritikalität Simulatorstudie I: Fahrt ohne Reglerunterstützung (Baseline)

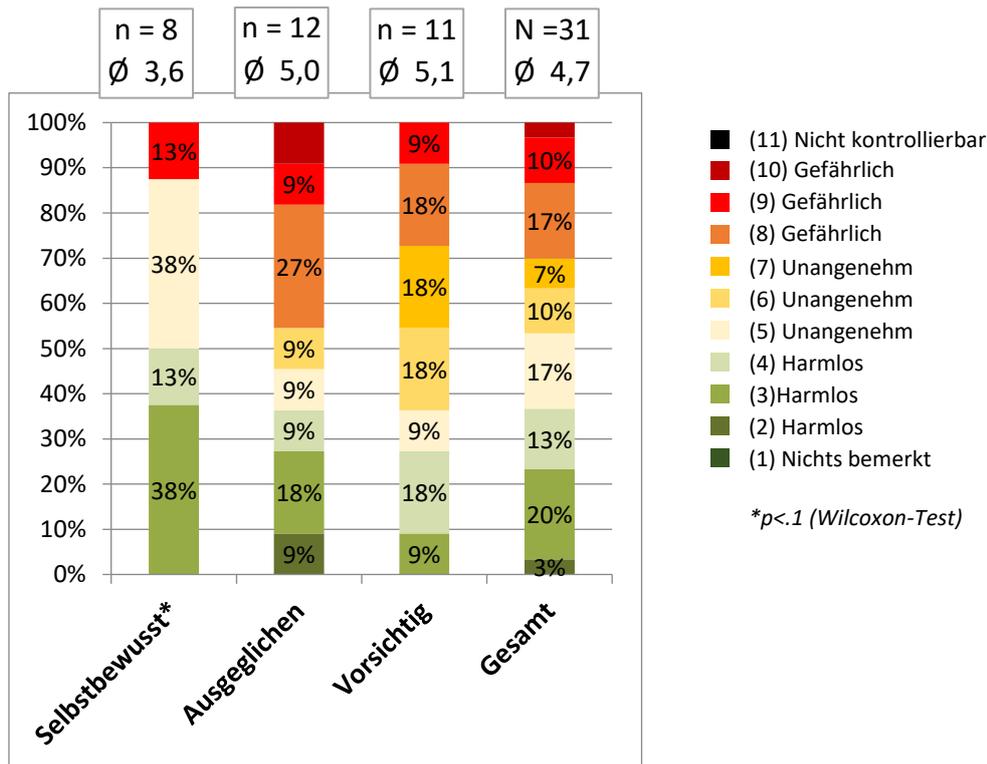


Abbildung 11: Subjektive Kritikalität Simulatorstudie I: Fahrt mit Reglerunterstützung (standard-graduell)

In der zweiten Simulatorstudie wurde unabhängig von einer Personazuzuordnung und unabhängig vom HMI das Reglerverhalten zur Lenkunterstützung untersucht. Stützend zu den objektiven Messergebnissen seitens des KIT und TU München hatten Teilnehmer mit einem nicht-adaptiven graduellen Reglerabfall die Kritikalität der Situation am niedrigsten eingeschätzt, wobei gleichzeitig die höchste wahrgenommene Unterstützung vom System berichtet wurde. Grundsätzlich hatten Teilnehmer Unterschiede zwischen allen drei Reglereinstellungen wahrgenommen. Dabei nahmen die Teilnehmer am häufigsten eine Systemunterstützung bei nicht-adaptiver graduell abfallender Lenkunterstützung wahr und bewerteten die Situation am wenigsten kritisch.

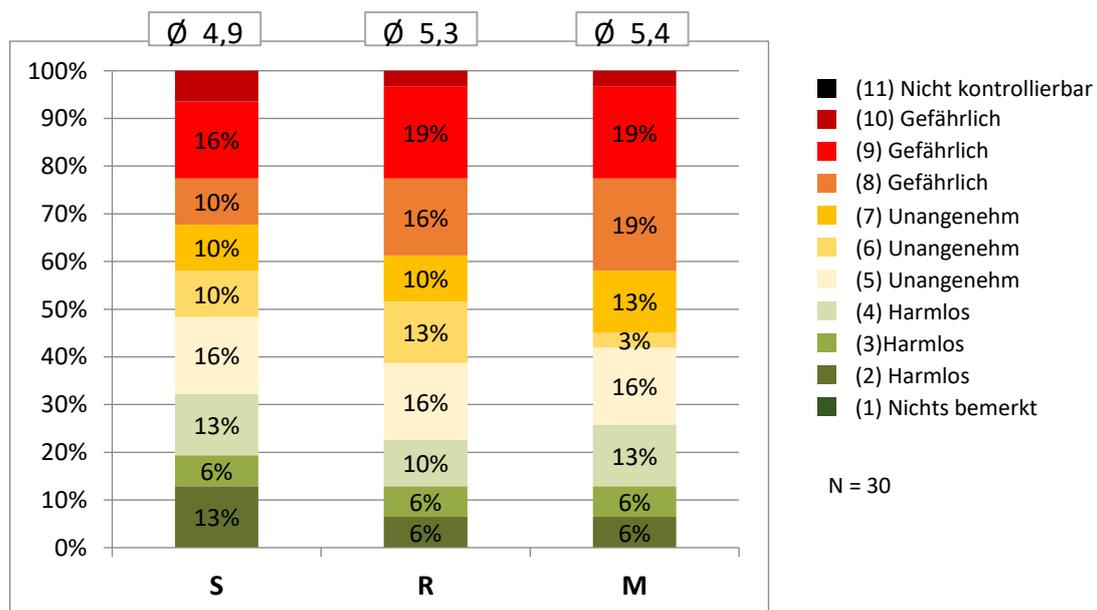


Abbildung 12: Kritikalität der Situation in Simulatorstudie II

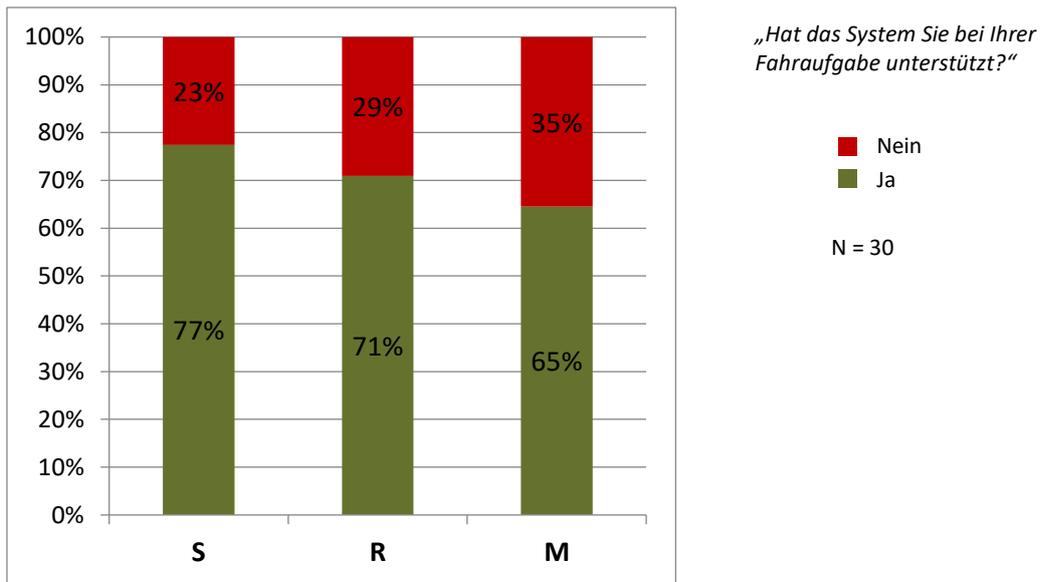


Abbildung 13: Wurde eine Systemunterstützung in Simulatorstudie II wahrgenommen?

Zur Bewertung der Ausweichsituation je nach Lenkunterstützung wurde in der zweiten Simulatorstudie das semantische Differential herangezogen. Hier zeigte sich gegenüber den meisten Items eine tendenziell bessere Bewertung der Situation als auch der eigenen Gefühle für die Reglervariante Standard als Lenkunterstützung: Bei einem 90%igen Konfidenzintervall fühlten sich Teilnehmer in der Ausweichsituation signifikant souveräner (MW=3,00) als bei einer reglerseitig adaptiven Lenkunterstützung (MW=3,58).

Bewertung Situation	Regler		
	S	R	M
Angenehm (1) – Unangenehm (7)	3,94	4,42	4,35
Harmlos (1) – Gefährlich (7)	3,58	3,13	3,55
Beherrschbar (1) – Nicht beherrschbar (7)	2,61	2,81	2,84
Unkritisch (1) – Bedrohlich (7)	4,06	3,55	3,74
Nachvollziehbar (1) – Unverständlich (7)	2,29	2,26	2,77
Vorhersehbar (1) – Überraschend (7)	4,23	4,90	4,45

Tabelle 14: Semantisches Differential zur Situationsbewertung in der Ausweichsituation von Simulatorstudie II (Mittelwerte)

Bewertung Gefühl	Regler		
	S	R	M
Sicher (1) – Unsicher (7)	3,48	3,90	3,77
Entspannt (1) – Angespannt (7)	3,94	3,55	3,48
Unterfordert (1) – Überfordert (7)	4,10	4,23	4,16
Souverän (1) – Orientierungslos (7)	3,00*	3,58*	3,23

\* $p < .1$

Tabelle 15: Semantisches Differential zur Gefühlsbewertung in der Ausweichsituation von Simulatorstudie II (Mittelwerte)

In einem gemeinsamen Workshop wurden ergänzend zu den objektiven Messdaten zum Fahrverhalten die subjektiven Eindrücke der Probanden durch das Spiegel Institut präsentiert und gemeinsam diskutiert.

## 7.5 Nutzerstudien und Evaluation in der Realfahrt (AP 9b)

Die Real-Life-Untersuchung befasste sich mit der Frage, ob das Fahrverhalten eines automatisierten Autos während der autonomen Fahrphase an die Bedürfnisse und individuellen Vorlieben seiner Insassen angepasst werden kann, um die Akzeptanz und den Fahrkomfort zu erhöhen. Während sicherheitsrelevante Situationen bereits mit den Fahrsimulator-Studien evaluiert werden konnten, war diese Real-Life-Studie wichtig, um die sehr subjektiven Maße der menschlichen Präferenz und Akzeptanz durch heutige und zukünftige Nutzer bewerten zu lassen: Da die vestibuläre und audiovisuelle Wahrnehmung in einem Simulator nicht der Realität entspricht, ist eine solche Bewertung nur in einer Realfahrt möglich (Frey 2014, S. 13).

### Rahmenbedingungen

Aufgrund der gesetzlichen Regelungen in Deutschland wurde sich für die Durchführung der Studie auf einer Teststrecke entschieden. Neben den sicherheitstechnischen und rechtlichen Vorteilen, die die Teststrecke bot, erleichterte sie auch die standardisierte Gestaltung der Szenarien im Vergleich zu einer weniger kontrollierbaren Situation auf öffentlichen Straßen. Um ein Höchstmaß an Erfahrung innerhalb der Testsituation zu ermöglichen, mussten die Benutzer in der Lage sein, verschiedene Situationen auf der Teststrecke zu durchlaufen. Diese Situationen wurden ebenfalls als die relevantesten Anwendungsfälle für automatisiertes Fahren ausgewählt und in Abstimmung mit den Projektpartnern ausgewählt.

#### *Sicherheit auf der Teststrecke*

Zur Gewährleistung der Sicherheit befand sich während der Fahrten ständig ein Sicherheitsfahrer von BOSCH auf dem Beifahrersitz, um im Gefahrenfall eingreifen zu können. Darüber hinaus begleitete ein Techniker die Fahrt, um die ordnungsgemäße Funktion der zusätzlichen Sensorausrüstung und der Datenaufzeichnung sicherzustellen, ebenso wie ein Interviewer, der den Teilnehmer während der Fahrt beobachten und befragen musste. Alle Teilnehmer wurden durch Projektleiter des Spiegel Instituts in die Sicherheitsrichtlinien eingewiesen und über die geltenden Regelungen und Vorschriften auf der Teststrecke aufgeklärt.

#### *Nebentätigkeiten*

Im Rahmen unserer Nutzerstudie boten wir dem Nutzer die Möglichkeit, sich während der hochautomatisierten Fahrt in Form einer standardisierten Nebenaufgabe ("Endlos-Quiz") vom Verkehr abzuwenden (Wahrnehmungsfokus). Um die Fahrten vergleichbar zu machen, wurde diese Nebenaktivität erst nach der ersten personalisierten Fahrt zur Verfügung gestellt. Somit erlebte der Teilnehmer zunächst alle Anwendungsfälle des personalisierten hochautomatisierten Fahrens ohne das Angebot einer Nebenaufgabe. Bei der anschließenden Fahrt hatte der Interviewer die Möglichkeit, das Quiz auf dem Tablet für den Teilnehmer zu aktivieren. Gleiches gilt für die nachfolgenden individualisierten Fahrten. Nach der Aktivierung des Tablets stand es den Teilnehmern frei, die Nebentätigkeit auszuführen.



Abbildung 14: Setup der Realfahrtstudie im Fahrzeug (Bildquelle: <https://www.technik-zum-menschen-bringen.de/bilder/service/ergebnissteckbriefe/ergebnissteckbrief-pakos.png>)

#### *Aufzeichnung der Fahrdaten*

Zusätzlich zu den subjektiven Messungen war das Testfahrzeug in der Lage, Fahrdaten (wie z.B. Beschleunigung, Fahrzeuggeschwindigkeit usw.) zu beobachten und zu erfassen, wenn es vom Benutzer manuell gefahren wurde. Diese gesammelten Daten wurden dann für das personalisierte und adaptive hochautomatisierte Fahrprofil verwendet. Das aufgezeichnete Datenmaterial enthielt auch die von den Teilnehmern selbst vorgenommenen Änderungen im individualisierten automatisierten Fahrbetrieb.

#### *Ablauf*

Wie Abb. 15 entnommen werden kann, bestand die Studie aus drei Teilen: manuellem Fahren, personalisiertem Fahren und – nach Anpassungen des Fahrverhaltens durch die Versuchsteilnehmer - individualisiertem Fahren. Jeder Teil der Studie bestand aus zwei Bedingungen: ohne Nebentätigkeit und mit Nebentätigkeit. Auf der Teststrecke erlebten die Teilnehmer in jedem der drei Teile folgende Use-Cases (Anwendungsfälle): eine Autobahnauffahrt, ein Überholmanöver, eine Autobahnausfahrt und eine Kurve auf einer Landstraße.

Das vorliegende Studiendesign basierte auf der Notwendigkeit, eine konstante Reihenfolge der Studiensequenzen einzuhalten. Diese Tatsache ist dem Verlauf der Teststrecke, den Vorgaben und Regelungen der Teststreckenbetreiber („Einbahnstraßenregel“) und technischen Voraussetzungen (Notwendigkeit einer vorangehenden individualisierten Fahrt für die personalisierte Fahrt) geschuldet.

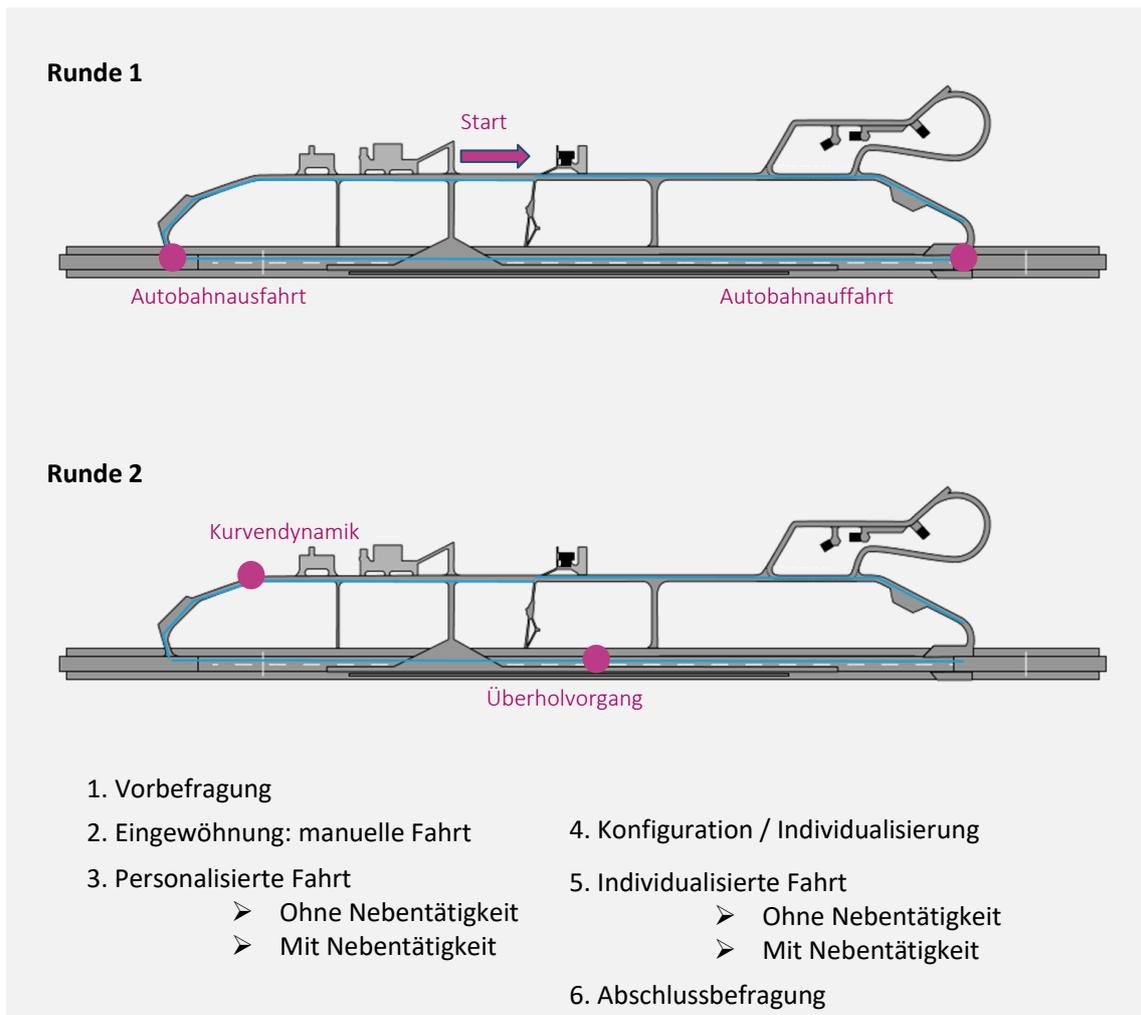


Abbildung 15: Ablauf Realfahrtstudie

Bei der Auswahl der Use-Cases stand das Ziel im Vordergrund, relevante und alltagsbezogene Anwendungsfälle zu identifizieren. Die Use-Cases wurden so gewählt, dass die Teilnehmer möglichst vielfältige Faktoren beim automatisierten Fahren erleben konnten und unterschiedliche Fahrstile in verschiedenen Bereichen getestet werden konnten. So konnten die Teilnehmer bei der Autobahnauffahrt insbesondere die Längsbeschleunigung erleben, der Überholvorgang präsentiert das Zusammenspiel von Längsbeschleunigung und Querbeschleunigung, charakteristisch für die Autobahnauffahrt ist das Erleben des Abbremsens und die Kurvenfahrt fokussiert das Erleben der Querbeschleunigung.

## Methodik

Um geeignete Studienteilnehmer zu rekrutieren, wurde das in AP 9a entwickelte probabilistische Screening-Verfahren eingesetzt. So konnte ein ausgewogenes Verhältnis der Teilnahme unterschiedlicher Fahrertypen (Selbstbewusst, Ausgeglichen, Vorsichtig) sichergestellt werden. Die Rekrutierung, Koordinierung, Betreuung und Incentivierung der Teilnehmer erfolgte durch das Spiegel Institut.

### *Fragebogenkonstruktion*

Zur Versuchsdurchführung wurde ein Leitfaden konstruiert und in enger Abstimmung mit allen beteiligten Projektpartnern evaluiert und finalisiert. Wichtige Bestandteile des Fragebogens waren:

#### *Akzeptanz*

Zur Bewertung der Akzeptanz und des wahrgenommenen Komforts des Fahrstils des hochautomatisierten, menschenzentrierten Autos wurden subjektive Bewertungstechniken auf der Grundlage der SUXES User Experience Evaluation eingesetzt. Der SUXES ist ein Fragebogen, der entwickelt wurde, um die Benutzererfahrung in herausfordernden Situationen zu erfassen, d.h. mit Systemen, die ein Benutzer noch nie zuvor benutzt hat. Der Benutzer kann Aussagen zustimmen oder ablehnen, die für das System relevant sind.

Das SUXES-Verfahren wurde als Orientierung verwendet, sodass nicht nur die Erfahrungen der Benutzer, sondern auch die Erwartungen der Benutzer an das System PAKoS getestet werden konnten. In Übereinstimmung mit Turunen (2009) wurde die Bewertung durch den Teilnehmer vor und nach der Nutzung des PAKoS-Systems durchgeführt, um einen Vergleich der Erwartungen mit den Erfahrungen zu ermöglichen.

Ein Vorteil der SUXES-Methode ist ein individueller Anker, der nicht an z.B. einen Benchmark gebunden ist, der für ein System wie das vorgeschlagene nicht zur Verfügung stünde. Die Anwender definieren ihre eigenen Erwartungen selbst, was es ermöglicht, die Akzeptanz zu testen. Sie zeigt, ob die Durchschnittserwartungen einer bestimmten Zielgruppe erfüllt wurden oder nicht.

In der ursprünglichen Variante des SUXES werden zwei Ankerpunkte gesetzt: Der erste Anker beschreibt die Optimalerwartung an das Produkt, also die gewünschte Erwartung an das Produkt (A1). Zudem wird ein zweiter Anker gesetzt, der angibt wie die Minimalerwartung an das Produkt ist, um es gerade noch benutzen zu wollen (A2). Diese beiden Ankerpunkte ergäben eine Erwartungsspanne an ein Produkt. Die Einschätzung nach dem Erleben des Produkts (E) sollte sich idealerweise innerhalb dieser Spanne bewegen, um den Erwartungen des Benutzers gerecht zu werden. In den Pretests zur Realfahrtstudie hat sich jedoch gezeigt, dass die Teilnehmer mit dieser Form der Fragestellung nicht vertraut sind und Probleme beim Differenzieren zwischen Minimal- und Optimalerwartung haben. Aus diesem Grund haben wir nur den Anker zur Optimalerwartung zur Auswertung herangezogen. Das Konzept der Befragung müsste für die Zukunft geändert werden, damit es für den Teilnehmer leichter verständlich wird.

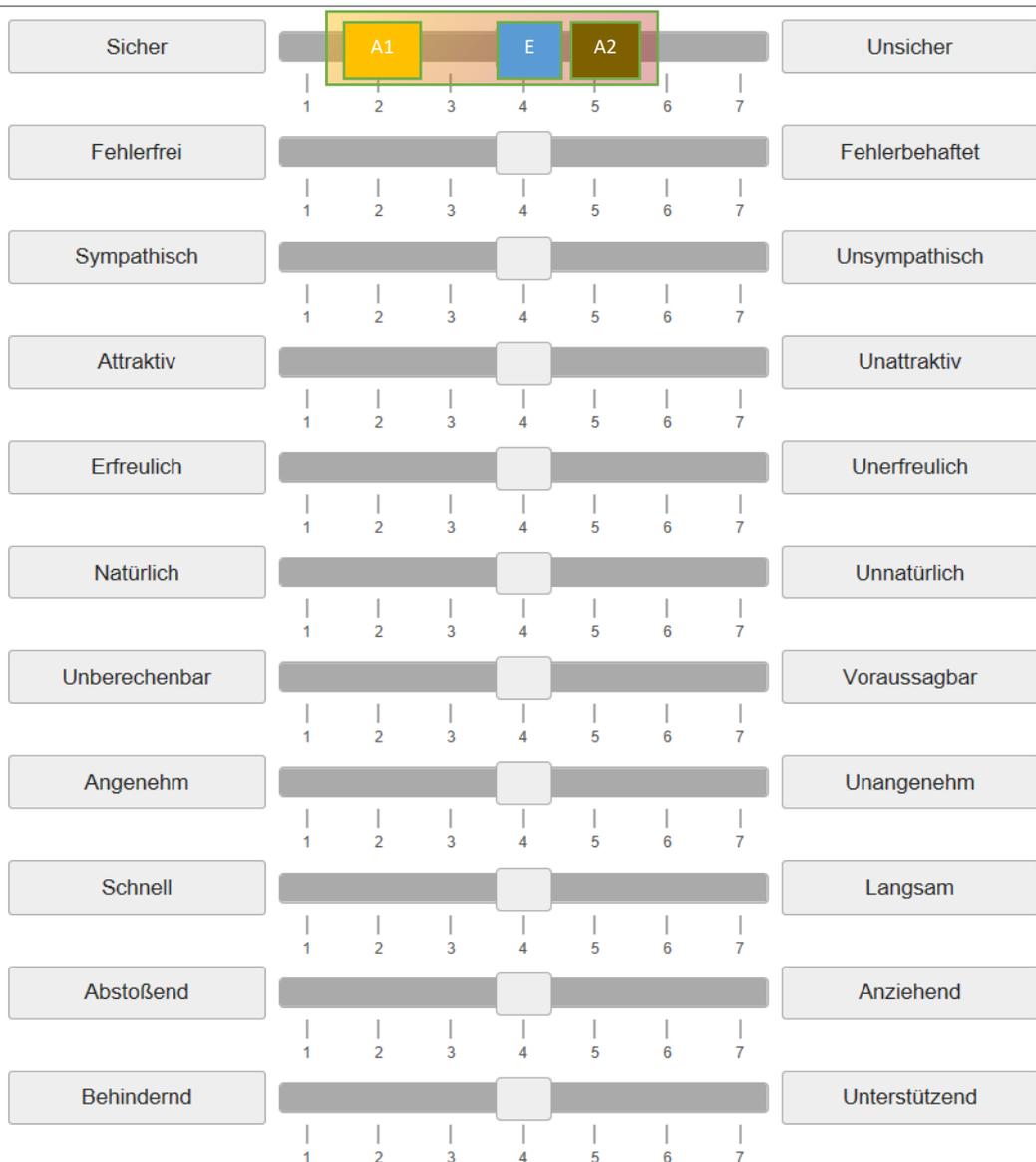


Abbildung 16: Semantisches Differential zur Bewertung der Akzeptanz des Systems: Anker A2 wurde wegen mangelndem Verständnis der Teilnehmer nicht angewandt

### Situationsbewertung

Um die Wirkung des Systems zu erheben, wurden auch Skalen zum subjektiven Empfinden der ausgewählten Use-Cases eingesetzt. Damit kann abgeschätzt werden, inwiefern eine Anpassung des Fahrstils und die Ausführung von Nebentätigkeiten dazu beiträgt, ein angemessenes Situationsempfinden zu fördern. Zudem können diese Kriterien in Zusammenhang mit den objektiven Messdaten zur Beurteilung der Beherrschbarkeit und der Annehmlichkeit der Situationen herangezogen werden:

- **Skala zur Bewertung der Use-Cases:** Die Probanden konnten zunächst in klar definierte Kategorienbereiche die Situation dahingehend einordnen, wie angenehm sie diese unter Aspekten des Fahrstils und der Fahrweise der Automation empfanden. Ziel war eine leichte und schnelle und dabei differenzierte Einordnung der Wahrnehmung unmittelbar nach Erleben des Use-Cases, was mittels Einsatz einer siebenstufigen Likertskalen (1 = unangenehm, 7 = angenehm) erreicht werden konnte.

- **Qualitative Abfrage zum erlebten Komfort:** In einer offenen Abfrage erhielten die Probanden direkt nach dem Erleben und Bewerten des Use-Cases die Möglichkeit, die Bewertung des Use-Cases zu begründen, Anmerkungen und Anregungen zu geben sowie Wünsche zu äußern. Diese subjektiven Beschreibungen konnten im Anschluss mit den objektiven Daten der Systemreaktionen abgeglichen werden.

### *Versuchsleiterratings*

Zusätzlich zu den subjektiven Beurteilungen und der Selbsteinschätzung durch die Probanden, fand eine Beobachtung des Verhaltens der Teilnehmer durch den Versuchsleiter statt. Der Versuchsleiter dokumentierte das Ausmaß der Ausführung der Nebentätigkeit sowie spezifisches Verhalten in den Use-Cases. Zur Dokumentation des spezifischen Verhaltens stand dem Versuchsleiter eine vordefinierte Auswahl an möglichen Beobachtungen zu Verfügung, die verschiedene Stadien der Aufmerksamkeit/ Reaktionsbereitschaft widerspiegeln (Tabelle 16).

<b>Versuchsleiterbeobachtung</b>
• <i>Keine Auffälligkeit</i>
• TN ist aufmerksam (z.B. Blickverfolgung)
• Hände griffbereit am Lenkrad
• Hände liegen am Lenkrad / Teilnehmer hält Lenkrad fest
• Füße sind reaktionsbereit
• Verbale Äußerungen (z.B. „zu schnell...“)
• Eingreifen durch den Teilnehmer: Übernahme der Lenkung
• Eingreifen durch den Teilnehmer: Bremsen
• Eingreifen durch den Teilnehmer: Beschleunigen

*Tabelle 16: Vordefinierte Auswahl der Versuchsleiterbeobachtungen zum Nutzerverhalten*

### *Nutzungsabsicht und Systemvertrauen*

Die künftige Nutzungsabsicht und das Systemvertrauen wurden mittels Zustimmungsskala zu ausgewählten Statements erhoben. Um die Veränderung der beiden Parameter im Zeitverlauf und den Einfluss der Individualisierungsmaßnahmen zu messen, wurden die Nutzungsabsicht und das Systemvertrauen zu mehreren Zeitpunkten erfragt.

### **Ergebnisse**

Die Studienstichprobe (N=34) zeichnet sich durch einen guten Mix aus Alter (M = 41 Jahre) und Fahrleistung aus. Es nahmen dementsprechend sowohl Personen, die viel Auto fahren (privat oder geschäftlich), als auch Personen, die wenig Auto fahren, an der Studie teil. Darüber hinaus wurden sowohl Teilnehmer, die Fahrerassistenzsysteme wenig oder gar nicht und/oder selten nutzen, als auch Personen, die Fahrerassistenzsysteme viel und/oder häufig nutzen, einbezogen. 76% der Studienteilnehmer sind Männer, 24% sind Frauen.

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer gaben an, dass sie eine eher positive Einstellung zum autonomen Fahren haben. Nichtsdestotrotz bezeichnete sich kein Teilnehmer selbst als Experte auf dem Gebiet des automatisierten Fahrens.

Einzelheiten zur Stichprobe können Abb. 17 entnommen werden.

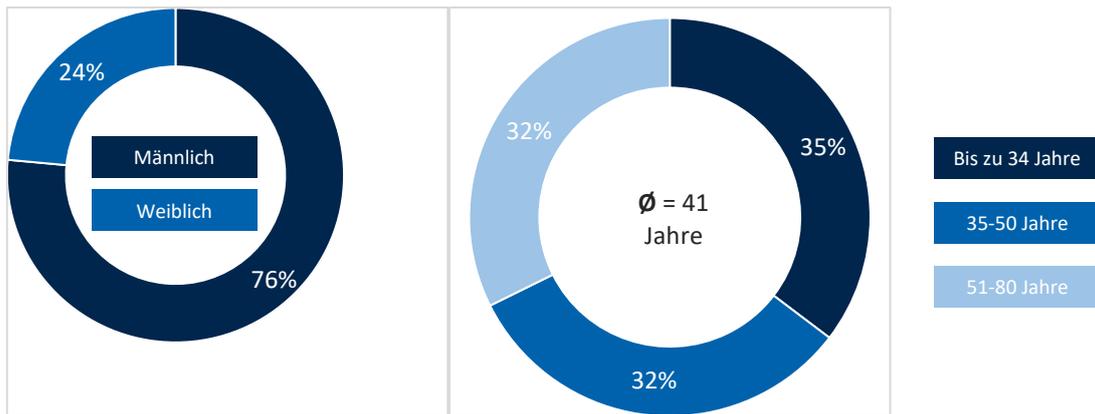


Abbildung 17: Überblick zum Sample (Realfahrt)

*Wahrnehmung von Use Cases beim individualisierten und personengebundenen Fahren (subjektiv) und die Wirkung von Nebentätigkeiten*

Alle Use Cases wurden sowohl bei der personalisierten als auch bei der individualisierten Fahrt als angenehm empfunden. Generell kann ein Trend beobachtet werden, dass die Wahrnehmung der Use Cases im Laufe der Zeit immer positiver wird.

Ebenfalls zu erkennen ist eine Tendenz in Bezug auf Nebentätigkeiten: Beim personalisierten Fahren scheinen sekundäre Aktivitäten einen größeren Einfluss auf die Wahrnehmung von Use Cases zu haben als beim individualisierten Fahren.

UC	Selbstbewusst				Ausgeglichen				Vorsichtig			
	Personalisiert		Individualisiert		Personalisiert		Individualisiert		Personalisiert		Individualisiert	
	No Task	2nd Task	No Task	2nd Task	No Task	2nd Task	No Task	2nd Task	No Task	2nd Task	No Task	2nd Task
a	5.9	6.3	6.8	6.5	5.5	6.1	6.4	6.6	4.4	5.3	6.6	6.4
b	5.5	6.5	5.5	6.4	5.5	6.0	6.1	6.2	5.4	5.7	5.1	5.4
c	5.9	6.4	6.6	6.4	5.6	6.1	6.4	6.6	5.7	6.6	6.3	6.4
d	6.3	6.2	6.5	6.7	5.6	6.2	6.4	6.4	5.8	6.0	6.4	6.3

*Scaling:*

unangenehm angenehm

1 2 3 4 5 6 7

UCs: a) Autobahnauffahrt | b) Überholvorgang | c) Autobahnabfahrt | d) Kurve

Tabelle 17: Bewertung einzelner Use Cases unter unterschiedlichen Bedingungen (Realfahrt)

Generell gilt: Die Mehrheit der Teilnehmer führte die angebotene Nebentätigkeit in den verschiedenen Anwendungsfällen aus. Teilnehmer, die keine Nebentätigkeit ausführten, waren hauptsächlich durch den Wunsch motiviert, das Fahrverhalten des automatisierten Fahrzeugs zu kontrollieren und zu überwachen. Dieser Wunsch herrschte sowohl beim personalisierten (n=9) als auch beim individualisierten Fahren (n=7) vor.

Zusammengefasst für alle Szenarien wird das individualisierte Fahren im Vergleich zum personalisierten Fahren als harmloser, kontrollierbarer und unkritischer empfunden. Die Teilnehmer gaben auch an, dass sie sich während der Fahrt entspannter und sicherer fühlen.

<b>Empfindungen</b>	<b>Personalisiert</b>	<b>Individualisiert</b>
Harmlos (1) – Gefährlich (7)	2,18	1,88
Beherrschbar (1) – Nicht beherrschbar (7)	1,85	1,74
Unkritisch (1) – Kritisch (7)	1,71	1,71
Nachvollziehbar (1) – Nicht nachvollziehbar (7)	2,18	1,88

\* $p < .1$

Tabelle 18: Bewertung des Empfindens der automatisierten Fahrt (Mittelwerte) (Realfahrt)

<b>Gefühle</b>	<b>Personalisiert</b>	<b>Individualisiert</b>
Entspannt (1) – Angespannt (7)	2,21	1,82
Unterfordert (1) – Überfordert (7)	3,06	2,76
Souverän (1) – Orientierungslos (7)	2,91	2,24

\* $p < .1$

Tabelle 19: Bewertung der Gefühle während der automatisierten Fahrt (Mittelwerte) (Realfahrt)

### Wahrnehmung von Use Cases bei individualisiertem und personenbezogenem Fahren (objektiv) / Fahrdaten

Grundsätzlich sind die von allen Beteiligten im Rahmen der Individualisierung vorgenommenen Anpassungen im Durchschnitt eher gering (z.B. Geschwindigkeitsanpassungen +/- 2 km/h). Betrachtet man jedoch die eingestellte (individualisierte) Geschwindigkeit, so ist eine Tendenz erkennbar: Auf Streckenabschnitten, die als kritischer einzustufen sind (Autobahnausfahrt, Autobahn), wird die Geschwindigkeit tendenziell leicht reduziert. Auf Straßenabschnitten, die als weitgehend unkritisch einzustufen sind (gerader Abschnitt), wird die Geschwindigkeit leicht erhöht oder überhaupt nicht verändert.

Geo	Setzgeschwindigkeit					
	Personalisierte Fahrt	Individualisierte Fahrt	$\Delta \emptyset$ Gesamt	$\Delta \emptyset$ Selbstbewusst	$\Delta \emptyset$ Ausgeglichen	$\Delta \emptyset$ Vorsichtig
1	78 kmh	79 kmh	+1 kmh	0 kmh	+2 kmh	0 kmh
2	64 kmh	65 kmh	+1 kmh	0 kmh	+3 kmh	+1 kmh
3	50 kmh	48 kmh	-2 kmh	-2 kmh	-3 kmh	-1 kmh
4	116 kmh	115 kmh	-1 kmh	+2 kmh	-2 kmh	-2 kmh

5	52 kmh	50 kmh	-2 kmh	-9 kmh	0 kmh	+4 kmh
6	52 kmh	54 kmh	+2 kmh	+2 kmh	-1 kmh	+3 kmh
7	76 kmh	76 kmh	0 kmh	+1 kmh	0 kmh	0 kmh
8	50 kmh	50 kmh	0 kmh	0 kmh	0 kmh	0 kmh

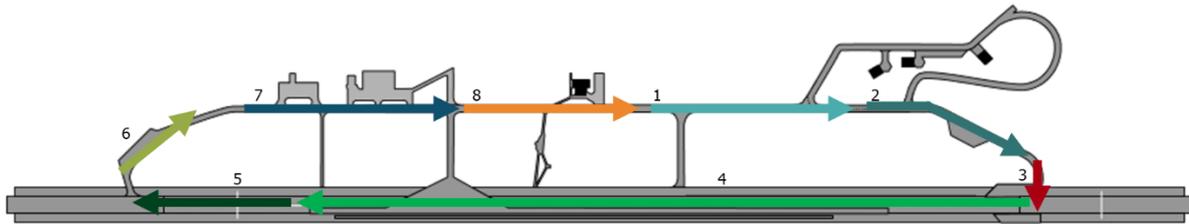


Tabelle 20: Setzgeschwindigkeiten pro Verortung auf der Teststrecke (Mittelwerte) (Realfahrt)

Bei der Analyse der Geschwindigkeitsanpassung auf der Ebene der Nutzergruppen lassen sich größere Individualisierungsbemühungen beobachten. Beispielsweise reguliert der selbstbewusste Fahrer die eingestellte Geschwindigkeit auf der Autobahn durchschnittlich um -9 km/h, während der vorsichtige Fahrer die Geschwindigkeit auf dem gleichen Streckenabschnitt durchschnittlich um +4 km/h erhöht. Durch diese Anpassung nähern sich die Gruppen jedoch ihrem Fahrstil an. So reduziert der selbstbewusste Fahrer seine Geschwindigkeit auf der Autobahn von 58 km/h auf 49 km/h, während der vorsichtige Fahrer die Geschwindigkeit von 48 km/h auf fast 52 km/h (im Durchschnitt) erhöht.

### Erwartungen und tatsächliche Benutzererfahrung, Entwicklung von Vertrauen in das System und Nutzungsabsicht

Unter Verwendung gegensätzlicher Wortpaare in einem semantischen Differential wurden zu Beginn der Studie die Erwartungen an die Erfahrung des automatisierten Fahrens abgefragt. Insgesamt wurden alle Erwartungen an die Erfahrung durch die tatsächliche Erfahrung übertroffen. Die Erfahrung der Personalisierung wird durch die Erfahrung der Individualisierung sogar noch übertroffen.

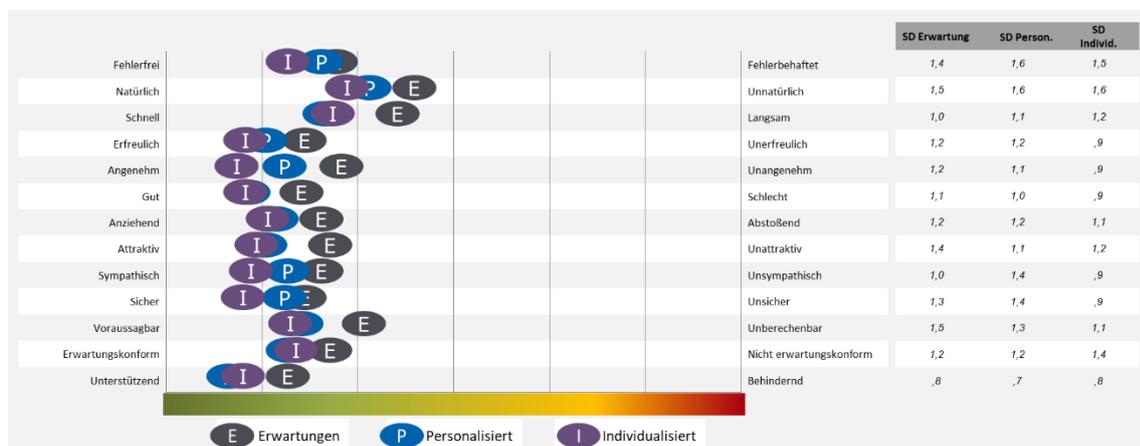


Abbildung 18: Abgleich der Erwartungen und der Erfahrungen in der Automation (Mittelwerte und Standardabweichung) (Realfahrt)

In den durchgeführten T-Tests zeigten die tatsächlichen Erfahrungen beim individualisierten Fahren in allen bis auf 2 Items (fehlerfrei und erwartungskonform) signifikant bessere Bewertungen. Im personalisierten Fahren bewerteten die Nutzer 7 von 13 Items signifikant besser, als sie erwartet hätten. Der Anstieg positiver Bewertungen des personalisierten Fahrens im Vergleich zum individualisierten Fahren war bei 3 Items signifikant: Die Nutzer bewerteten das individualisierte Fahren im Vergleich zum personalisierten Fahren als signifikant angenehmer, sympathischer und sicherer. Die größten Unterschiede zwischen erwarteter und tatsächlicher Erfahrung zeigen sich bei den Themen "vorhersehbar - unvorhersehbar", "attraktiv - unattraktiv" und "gut - schlecht".

Dimension (scaling)		Erwartung	User Experience	
(1)	(7)	Vor der Fahrt	Personalisiert	Individualisiert
Fehlerfrei	Fehlerbehaftet	2,8	2,6	2,3
Natürlich	Unnatürlich	3,6	3,1	2,9**
Schnell	Langsam	3,4	2,6**	2,7**
Erfreulich	Unerfreulich	2,4	2,0	1,8**
Angenehm	Unangenehm	2,8	2,2**	1,7**
Gut	Schlecht	2,4	1,9**	1,8**
Anziehend	Abstoßend	5,4	5,9**	5,9**
Attraktiv	Unattraktiv	2,7	2,0**	1,9**
Sympathisch	Unsympathisch	2,6	2,3	1,9**
Sicher	Unsicher	2,4	2,2	1,8**
Voraussagbar	Unberechenbar	4,9	5,6**	5,7**
Erwartungskonform	Nicht erwartungskonform	2,7	2,3	2,4
Unterstützend	Behindernd	5,7	6,4**	6,2**

\*\*p<.05

Tabelle 21: Abgleich der Erwartungen und der Erfahrungen in der Automation (Mittelwerte) (Realfahrt)

Auch das Vertrauen in das System und die Absicht, es zu nutzen, verändern sich: Sowohl das Vertrauen in das System als auch die Absicht, es zu nutzen, steigen von einem Grundwert (erste Runde personalisiert) im personalisierten automatisierten Fahren zu einem höheren Wert im individualisierten Fahren. Hinsichtlich der Differenzierung nach Nutzergruppen weist der vorsichtige Fahrer zunächst das geringste Vertrauen in das System und die geringste Nutzungsabsicht auf. Beide Werte steigen jedoch aufgrund der tatsächlichen Erfahrung mit dem System in den personalisierten und individualisierten Fahrten an. Von allen drei Nutzergruppen scheint der vorsichtige Fahrer am meisten von der Individualisierung im Hinblick auf Systemvertrauen und Nutzungsabsicht zu profitieren.

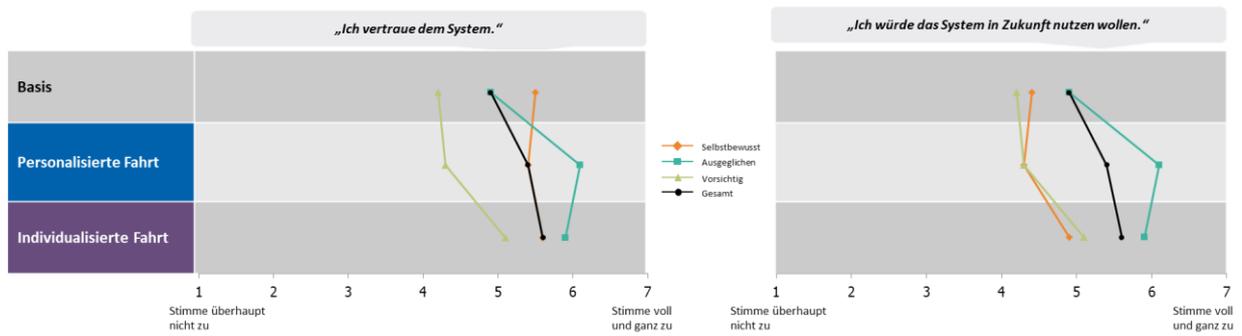


Abbildung 19: Entwicklung des Systemvertrauens und der Nutzungsabsicht (Mittelwerte) (Realfahrt)

Um sich noch wohler zu fühlen, wünschen sich die Teilnehmer vor allem ein weiches, natürlicheres, vorausschauendes Fahrverhalten. Insgesamt betont die überwiegende Mehrheit der Teilnehmer den positiven Gesamteindruck des Systems.

## 8 Voraussichtlicher Nutzen – Verwertbarkeit der Projektergebnisse

Die Spiegel Institut Mannheim GmbH & Co. KG kann die in diesem Forschungsvorhaben gewonnenen Erkenntnisse unmittelbar im Rahmen ihrer beratenden Tätigkeit in laufenden Projekten mit den Automobilherstellern gewinnbringend einsetzen.

Der Fokus der Spiegel Institut GmbH & Co. KG liegt in der nutzerzentrierten Analyse von Produkten der Automotive-Industrie. In Studien werden zum einen die Akzeptanz von Produkten und Produkteigenschaften untersucht, zum anderen die Gebrauchstauglichkeit von Komponenten und Systemen. Auf Basis dieser Erkenntnisse ist die Spiegel Institut GmbH & Co. KG seit Jahren ein erfahrener Partner der Automobilhersteller bei der nutzerzentrierten Entwicklung von Bedienkonzepten und Nutzerschnittstellen.

Die nutzerzentrierte Entwicklung ist ein ganzheitlicher Ansatz, der Aufgaben, Ziele und Eigenschaften des Nutzers in den Mittelpunkt des Entwicklungsprozesses interaktiver Systeme stellt. Nur wenn die Bedürfnisse der Benutzer und der Nutzungskontext bekannt sind und bei der Entwicklung berücksichtigt werden, kann Interaktion intuitiv benutzbar und erfolgreich gestaltet werden. Eine frühe Fokussierung auf Nutzer- und Aufgabenanforderungen und empirische Überprüfungen der Entwürfe und Ergebnisse durch Nutzer sichern jedoch nicht nur eine hohe Gebrauchstauglichkeit, sondern steigern auch die Akzeptanz des Systems und die Nutzerzufriedenheit.

Das Spiegel Institut als Experte in den Bereich UX Consulting, Usability Engineering und UX Empowerment war im Forschungsprojekt PAKoS zuständig für die Einbindung des Nutzers in den Entwicklungsprozess.

Durch diese Einbindung konnten im Projektverlauf neue Erkenntnisse im Bereich des automatisierten Fahrens im Leben der Menschen gesammelt werden. Dabei bestätigte sich insbesondere die hohe Relevanz von Individualisierung und Personalisierungsbemühungen im Kontext des automatisierten Fahrens. Dies zeigt sich sowohl in den Studien im Fahrsimulator, die beispielsweise ein stärkeres Situationsbewusstsein der Fahrer bei der Einspielung eines personalisierten HMI im Vergleich zu einem Standard-HMI erkennen lassen, als auch in der Realfahrtstudie.

Die dort beobachtbaren Erkenntnisse sind jedoch vielschichtiger: Zwar nahm die überwiegende Mehrheit der Teilnehmer Individualisierungsmaßnahmen vor, im Durchschnitt fallen diese Systemanpassungen jedoch gering aus. Betrachtet man die Daten auf der Ebene der Nutzergruppen, so unterscheiden sie diese in ihrem Fahrverhalten im personalisierten Fahren und im Anpassungsverhalten während der Individualisierungsphase. Es lässt sich jedoch auch erkennen, dass sich die verschiedenen Nutzergruppen durch Individualisierungsmaßnahmen einander in ihrem Fahrverhalten annähern. Letztlich scheint der ausgewogene Fahrstil für alle Nutzergruppen am wünschenswertesten. Dies wirft die Frage auf, inwiefern Individualisierungsoptionen sinnvoll sind, wenn man davon ausgeht, dass selbst unterschiedliche Nutzergruppen einen ähnlichen Fahrstil des automatisierten Fahrzeugs bevorzugen.

Sicher ist, dass die Studienteilnehmer die (subjektive) Relevanz von Individualisierungsmöglichkeiten als sehr hoch einschätzen. Es ist denkbar, dass der Individualisierungsprozess die Nutzer bei der Gewöhnung an die Automation unterstützt. Eine Individualisierung fördert die Interaktion mit dem System und könnte dementsprechend eine Vertrauensbildung unterstützen. Diese Hypothese kann durch die beobachtete Steigerung des Systemvertrauens während der automatisierten Fahrt in der Realfahrtstudie gestützt werden. Individualisierung kann als eine Art des kreativen Prozesses angesehen werden, der es dem Nutzer ermöglicht, unbewusst eine Beziehung zum System aufzubauen. Die Fähigkeit, das Endprodukt zu beeinflussen und sich individuell auszudrücken, scheint

zu einer persönlichen Bindung an das System führen. Letztendlich spiegelt das Ergebnis dieser Aktivität den persönlichen Geschmack des Benutzers wider.

Die Studienergebnisse lassen den Schluss zu, dass Individualisierungsoptionen im automatisieren Fahren den Weg für eine Erhöhung des Systemvertrauens und einer leichteren, komfortableren und schnelleren Gewöhnung an neue Systeme ebnet.

## 8.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Die im Rahmen dieses Teilprojekts entwickelten und angewandten Evaluationsmethoden stellen die Basis für einen Transfer in die formative und summative Evaluation von Assistenz- und Informationssystemen dar: Die im Rahmen dieses Teilprojekts entwickelten und angewandten Analyse- und Erhebungsmethoden stellen die Basis für eine nutzergerechte Konzeption zukünftiger interaktiver Systeme dar. Eine besondere Herausforderung sind dabei jene Technologien, die für heutige Nutzer nicht erlebbar sind und zu denen Informationen aus dem Nutzungsalltag nur mit einem unverhältnismäßigen Aufwand erhoben werden können.

Durch die in diesem Projekt weiterentwickelten Analyse- und Evaluationskompetenz kann die Spiegel Institut GmbH & Co. KG die nutzerzentrierte Konzeption von Bedieninterfaces weiter ausbauen: das fundierte Wissen um die kognitive Leistungsfähigkeit der Nutzer und zu Akzeptanzunterschieden zwischen verschiedenen Gestaltungslösungen dient als Basis für die Entwicklung angepasster und effizienter Interfaces, die sich an den Erwartungen und kognitiven Fähigkeiten des Nutzers orientieren. Eine Herausforderung ist hierbei die wiederkehrende und entwicklungsbegleitende Analyse bei der Bedienung eines Interfaces. Nur durch einen iterativen Entwicklungszyklus der Benutzerzentrierten Gestaltung, wie ihn die ISO 9241-210 definiert, kann die gebrauchstaugliche Gestaltung von Nutzerschnittstellen sichergestellt werden. Dies stellt besondere Anforderungen an die Flexibilität und Effizienz der eingesetzten Test- und Messmethoden, um sie in diese agile Entwicklungsumgebung einbinden zu können. Auf der Seite der Evaluation und Absicherung von interaktiven Systemen stellen die zunehmende Adaptivität und erweiterte Personalisierungsmöglichkeiten hohe Anforderungen an die Testmethodik: Wie gelingt es zum einen, ein sich ständig anpassendes interaktives System vollständig und reproduzierbar zu überprüfen? Und wie kann zum anderen die Nutzerrelevanz und –akzeptanz einer erst im Zeitverlauf sichtbaren Adaption in einer Testsituation effizient überprüft werden? Durch die in diesem Projekt gewonnen Erkenntnisse zur Evaluation adaptiver Systeme, konnte die Spiegel Institut GmbH & Co. KG ihr bestehendes Methodenset optimieren und erweitern.

Als KMU ist die Spiegel Institut GmbH & Co. KG an einer effizienten Messmethodik interessiert, die sich durch einen modularen und universell einsetzbaren Versuchsaufbau und eine weitgehend automatisierte Auswertung auszeichnet. Nur so ist es möglich, eine Evaluierungsunterstützung anbieten zu können, die sich flexibel in den Entwicklungsprozess des Auftraggebers einbinden lässt und wirtschaftlich attraktiv ist.

## 8.2 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Neben den wirtschaftlichen Verwertungsperspektiven bieten die Projektergebnisse auch die Möglichkeit einer wissenschaftlichen Verwertung in verschiedenen Bereichen der Mensch-Maschine-Interaktion. Erkenntnisse zum Einfluss von adaptiven Systemen auf Akzeptanz und Nutzerverhalten tragen zu einem allgemein tieferen Verständnis der Forschung im Bereich der nutzerzentrierten und demografiefesten Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion bei. Die Erkenntnisse sollen deshalb durch die Dissemination der Forschungsbefunde im Rahmen von Publikationen und Tagungen der wissenschaftlichen Community wie auch forschenden Unternehmen zuteilwerden und so einen

Austausch weiterer Forschungsideen und Entwicklungen anregen. Ziel ist es, den Theorie-Praxis-Konnex zu stärken und die aktuell erzielten Erkenntnisse auch in andere Mensch-Technik-Interaktionsfelder zu transferieren.

### **8.3 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit**

Die interdisziplinäre Ausrichtung des Konsortiums stellt sicher, dass anwendungsorientierte Anschlussprojekte in den unterschiedlichsten Fachbereichen entstehen können. Dazu werden die Projektpartner sich zum einen aktiv an der projektübergreifenden Zusammenarbeit mit anderen Verbänden beteiligen. Zum anderen wird das Konsortium die allgemeinen Projektergebnisse zur Weiterverwendung in anwendungsbezogenen Forschungsprojekten aufbereiten. Die Zahl der erfolgreichen Anschlussprojekte wird ebenfalls zu einem Erfolgskriterium für PAKoS. In einer Disseminationsphase nach Ende des Projekts wird die Verbreitung der Ergebnisse vorbereitet. Dazu sind ebenso Besuche von Veranstaltungen zum spezifischen Anwendungskontext FAS geplant (VDI-Tagung, TÜV-Tagung), wie auch von Veranstaltungen in breiteren Anwendungsfeldern (z.B. BMBF-Tagungen). Hinsichtlich der Verbreitung und Nutzbarmachung der Ergebnisse für die wissenschaftliche Community und forschende Unternehmen bestehen aufgrund der Neuartigkeit der erforschten Ansätze für die beteiligten Forschungspartner zudem exzellente Chancen, die Ergebnisse in nationalen und internationalen Zeitschriften zu publizieren und auf renommierten Konferenzen zu präsentieren.

Die Erkenntnisse werden außerdem im Buch „Smart Automotive Mobility“ des Springer Verlags veröffentlicht. Die Informationen bereichern den Leser um das Wissen menschenzentrierter Kontroll-Transitionen zwischen Fahrer und automatisierten Fahrzeugen. Es reiht sich ein in die Erkenntnisse weiterer Forschungsprojekte zu verlässlicher Technik für den mobilen Menschen.

### **8.4 Übertragung auf andere Geschäftsbereiche**

Für die Spiegel Institut GmbH & Co. KG besteht zudem ein mittel- bis langfristiges Verwertungsinteresse der Projektergebnisse durch eine Übertragung der Erkenntnisse auf andere Geschäftsbereiche. Ziel ist es dabei, auf Grundlage des erworbenen Knowhows im Bereich der Analyse von Nutzungsanforderungen an adaptive interaktive Systeme eine effiziente Erhebungs-, Analyse und Dokumentationsmethodik zu entwickeln, die die gewonnenen Erkenntnisse und Annahmen zu Nutzungsanforderungen für den kollaborativen und agilen Gestaltungsprozess adaptiver, interaktiver Systeme verfügbar macht. Im Vordergrund steht dabei weniger die Vollständigkeit der Anforderungserhebung, sondern vielmehr die Praktikabilität der Anforderungsdokumentation für die weitere Verwendung im Gestaltungsprozess. Neben diesen methodischen Aspekten besteht für die Spiegel Institut GmbH & Co. KG darüber hinaus auch ein starkes inhaltliches Interesse an den Erkenntnissen der Anforderungsanalyse und der Evaluation der erarbeiteten Konzepte: Personalisierte, adaptive und/oder kooperative Systeme werden für sehr viele Branchen eine große Relevanz bekommen. Die Spiegel Institut GmbH & Co. KG kann die in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse zu Nutzungsanforderungen und Akzeptanz von Gestaltungslösungen in ihren Geschäftsbereichen UX Consulting und Usability Engineering nutzen.

Im Verlauf des Projekts kam es unsererseits zu keinen Erfindungen, Schutzrechtsanmeldungen und/oder erteilten Schutzrechten durch das Spiegel Institut. Auf Basis der in diesem Forschungsvorhaben erzielten Erkenntnisse sind auch kurz- und mittelfristig keine Erfindungen oder Schutzrechtsanmeldungen geplant.

## 9 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die durchgeführten Informationsrecherchen in der einschlägigen Literatur der Verkehrspsychologie sowie der aufmerksamkeitspsychologischen Grundlagenforschung ergaben keine für unser Vorhaben relevanten FE-Ergebnisse: Derzeit gibt es noch keine gültigen Modelle zur situationsspezifischen Vorhersage der kognitiven Belastung eines Fahrers.

## III Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

### 10 Beteiligung Spiegel Institut

Im Druck:

[Geixner.2020] M. Flad, P. Karg, M. Martin, A. Roitberg, M. Mazewitsch, C. Lange, E. Kenar, L. Ahrens, B. Flecken, L. Kalb, B. Karakaya, J. Ludwig, A. Pruksch, R. Stiefelhagen, S. Hohmann. „Personalisation and Control Transition between Automation and Driver in Highly Automated Cars“ in Smart Automotive Mobility, Springer, 2020. DOI 10.1007/978-3-030-45131-8.

### 11 Andere Projektpartner

A. Schwarz, M. Haurilet, M. Martinez, R. Stiefelhagen, “DriveAhead—A Large-Scale Driver Head Pose Dataset”, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2017

J.Ludwig, C. Gote, M. Flad, S. Hohmann, “Cooperative Dynamic Vehicle Control Allocation using Time-Variant Differential Games”, International Conference on System, Man and Cybernetics, 2017

B. Karakaya, L. Kalb. K. Bengler, "Cooperative Approach to Overcome Automation Effects During the Transition Phase of Conditional Automated Vehicles", 12. Uni-DAS e.V. Workshop Fahrerassistenz und automatisiertes Fahren, 26.-28.9.18, Walting, Deutschland

J. Ludwig, A. Haas, M. Flad, S. Hohmann, "A Comparison of Concepts for Control Transitions from Automation to Human", IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 2018, 7.-10.10.18, Miyazaki, Japan

L. Kalb, L. Streit, K. Bengler, "What Drivers Make of Directional Maneuver Information in a Take-Over Scenario", IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 2018, 7.-10.10.18, Miyazaki, Japan

J. Ludwig, Martin, M. Flad, Horne, Voit, Stiefelhagen, S. Hohmann, “Driver observation and shared vehicle control: supporting the driver on the way back into the control loop”, at Automatisierungstechnik, Band 66, Heft 2 (Feb 2018), Special Issue: Cars become robots

## IV Literatur

[Abbink.2006] D. A. Abbink. Neuromuscular Analysis of Haptic Gas Pedal Feedback during Car Following. PhD thesis, Delft University of Technology, 2006.

[Arun.2012] S. Arun, K. Sundaraj, and M. Murugappan, "Driver inattention detection methods: A review," in Proceedings of the IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology, pp. 1–6, 2012.

[Bach.2008] K. M. Bach, M. G. Jäger, M. B. Skov, and N. G. Thomassen, "You can touch, but you can't look: interacting with in-vehicle systems," in Proceeding of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp. 1139–1148, 2008.

[Bainbridge.1983] L. Bainbridge, "Ironies of automation," *Automatica*, vol. 19, no. 6, pp. 775–779, 1983.

[Beller.2013] J. Beller, M. Heesen, and M. Vollrath, "Improving the Driver– Automation Interaction: An Approach Using Automation Uncertainty." *Human Factors*, 55 (6): 1130–1141, 2013.

[Bengler.2012] K. Bengler, M. Zimmermann, D. Bortot, M. Kienle, and D. Damböck, "Interaction Principles for Cooperative Human-Machine Systems," *it - Inf. Technol.*, vol. 54, no. 4, pp. 157–164, 2012.

[BLee.2012] B.-G. Lee and W.-Y. Chung. "Driver alertness monitoring using fusion of facial features and bio-signals". *Sensors Journal*, IEEE, 12(7):2416–2422, July 2012.

[Börner.2006] M. Börner and R. Isermann. „Model-based detection of critical driving situations with fuzzy logic decision making”. *Control Engineering Practice*, 14(5):527 – 536, 2006.

[Camacho.2015] E. Camacho, D. Lowe, S. veliu, D. Lohrmaier, S. Otterson, J. Olsen "Access Control for personalized user information maintained by a telematics unit" 14.07.2015 Patent No: US9,081,944 B2

[Chang.2008] T.-H. Chang, C.-S. Hsu, C. Wang, and L.-K. Yang. "Onboard measurement and warning module for irregular vehicle behavior". *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, 9(3):501–513, SEP 2008.

[D3CoS.2014] M. Baumann, Y. Cao, F. Cauchard, P. Corradini, M. Corradini, F. Dehais, S. Fonda, R. Heers, M. Heesen, J. Kelsch, G. Losi, M. Magnaudet, D. Malagoli, H. Müller, H. Neujahr, F. Rister, F. Tango, J.-M. Temmos, D. Pinotti, and M. Zimmermann, "Design Patterns Catalogue: Index of Design Patterns," 2014. [Online]. Available: <http://www.d3cos.eu/dp>.

[Damböck.2013] D. Damböck, T. Weißgerber, M. Kienle, and K. Bengler, "Requirements for Cooperative Vehicle Guidance," in Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems, 2013.

[Demirdjian.2009] D. Demirdjian and C. Varri, "Driver pose estimation with 3D Time-of-Flight sensor," in Proceedings of the IEEE Workshop on Computational Intelligence in Vehicles and Vehicular Systems, pp. 16–22, 2009.

[Diehm.2013] G. Diehm, S. Maier, M. Flad, S. Hohmann, "Online Identification of Individual Driver Steering Behaviour and Experimental Results", *International Conference on System, Man and Cybernetics*, 2013.

- [Dörr.2010] D.Dörr, D.Grabengiesser, F.Gauterin „Online Driving Style Recognition using Fuzzy Logic“ 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 08.10.2014
- [Flad.2014] M. Flad, J. Otten, S. Schwab, S. Hohmann, “Steering Driver Assistance System: A Systematic Cooperative Shared Control Design Approach”, International Conference on System, Man and Cybernetics, 2014.
- [Flemisch.2008] F. Flemisch, A. Schieben, J. Kelsch, and C. Löper, “Automation spectrum, inner / outer compatibility and other potentially useful human factors concepts for assistance and automation,” Human Factors for assistance and automation, 2008.
- [Flemisch.2014] F. O. Flemisch, K. Bengler, H. Bubb, H. Winner, and R. Bruder, “Towards cooperative guidance and control of highly automated vehicles: H-Mode and Conduct-by-Wire,” Ergonomics, vol. 57, no. 3, pp. 343–360, 2014.
- [Fletcher.2005] L. Fletcher, G. Loy, N. Barnes, and A. Zelinsky, “Correlating driver gaze with the road scene for driver assistance systems,” Robotics and Autonomous Systems, vol. 52, no. 1, pp. 71–84, 2005.
- [Foyle.1995] Foyle, D. C., McCann, R. S., & Shelden., S. G. (1995). Attentional issues with superimposed symbology: Formats for scene-linked displays. Proceedings of the Eighth International Symposium on Aviation Psychology, 98–103.
- [Friedrich.2010] T. Friedrich and P. Ziegler, “Verfahren zum anpassen eines Fahrerassistenzsystems an das Fahrverhalten eines Fahrers,” 22.07.2010, dE Patent App. DE200,910,000,296. [Online]. Available: <http://www.google.com/patents/DE102009000296A1?cl=de>
- [Friedrichs.2010] F. Friedrichs and B. Yang. „Drowsiness monitoring by steering and lane data based features under real driving conditions”. Proceedings of the European Signal Processing Conference, Aalborg, Denmark, pages 23–27, 2010.
- [Gasser.2012] T. M. Gasser, C. Arzt, M. Ayoubi, A. Bartels, L. Bürkle, J. Eier, F. Flemisch, D. Häcker, T. Hesse, W. Huber, C. Lotz, M. Maurer, S. Ruth-Schumacher, J. Schwarz, and W. Vogt, “Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung,” Berichte der Bundesanstalt für Straßenwes., no. F 83, 2012.
- [Geyer.2014] S. Geyer, M. Baltzer, B. Franz, S. Hakuli, M. Kauer, M. Kienle, S. Meier, T. Weißgerber, K. Bengler, R. Bruder, F. Flemisch, and H. Winner, “Concept and development of a unified ontology for generating test and use-case catalogues for assisted and automated vehicle guidance,” IET Intell. Transp. Syst., vol. 8, no. 3, pp. 183–189, 2014.
- [Ghiass.2014] R.S. Ghiass, O. Arandjelović, A. Bendada, X. Maldague. “Infrared face recognition: A comprehensive review of methodologies and databases”. Pattern Recognition, Vol. 47, Issue 9, Sep. 2014, pp. 2807-2824.
- [Gold.2013] C. Gold, D. Damböck, L. Lorenz, and K. Bengler, “‘Take over!’ How long does it take to get the driver back into the loop?,” Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet., vol. 57, no. 1, pp. 1938–1942, 2013.
- [Gonter.2010] M.Gonter, C.Bauer. R.Rojas „Fahrerspezifische Analyse des Fahrverhaltens zur Parametrierung aktiver Sicherheitssysteme“ 4.tagung Sicherheit durch Fahrerassistenz
- [Gremillion.2016] G. Gremillion, J. Metcalfe, A. Marathe, V. Paul, J. Christensen, K. Drnec, B. Haynes, and C. Atwater, “Analysis of Trust in Autonomy for Convoy Operations.” In Micro- and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications VIII, 9836: 98361Z, 2016.

- [Harris.1996] P. An and C. Harris. "An intelligent driver warning system for vehicle collision avoidance". *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, IEEE Transactions on, 26(2):254–261, Mar 1996.
- [Hergeth.2016] S. Hergeth, L. Lorenz, R. Vilimek, and J. Krems, "Keep Your Scanners Peeled: Gaze Behavior as a Measure of Automation Trust During Highly Automated Driving." *Human Factors*, 58 (3): 509–519, 2016.
- [Hoc.2009] J.-M. Hoc, M. S. Young, and J.-M. Blosseville, "Cooperation between drivers and automation: implications for safety," *Theor. Issues Ergon. Sci.*, vol. 10, no. 2, pp. 135–160, 2009.
- [Holte.2012] M. B. Holte, C. Tran, M. M. Trivedi, and T. B. Moeslund, "Human Pose Estimation and Activity Recognition From Multi-View Videos: Comparative Explorations of Recent Developments," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 6, no. 5, pp. 538–552, 2012.
- [Ito.2008] T. Ito and T. Kanade, "Predicting driver operations inside vehicles," in *Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition*, pp. 1–6, 2008.
- [Ji.2002] Q. Ji and X. Yang, "Real-Time Eye, Gaze, and Face Pose Tracking for Monitoring Driver Vigilance," *Real-Time Imaging*, vol. 8, no. 5, pp. 357–377, 2002.
- [Johnson.2011] D. Johnson and M. Trivedi, "Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform," in *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2011 14th International IEEE Conference on*, Oct 2011, pp. 1609–1615.
- [Kang.2015] J. Kang, M.H. Hayes III. „Face Recognition for Vehicle Personalization with Near-IR Frame Differencing and Pose Clustering". *IEEE Intl. Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 2015, pp. 455-456.
- [Kaplan.2015] S. Kaplan, M. A. Guvensan, A. G. Yavuz and Y. Karalurt, "Driver Behavior Analysis for Safe Driving: A Survey", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, no. 6, 2015.
- [Kawasaki.2004] N. Kawasaki and U. Kiencke. "Standard platform for sensor fusion on advanced driver assistance system using bayesian network". *Intelligent Vehicles Symposium, 2004 IEEE*, pages 250–255, June 2004.
- [Kelsch.2013] J. Kelsch, G. Temme, and J. Schindler, "Arbitration based framework for design of holistic multimodal human-machine interaction," 2013.
- [Kienle.2013] M. Kienle, D. Damböck, H. Bubb, and K. Bengler, "The ergonomic value of a bidirectional haptic interface when driving a highly automated vehicle," *Cogn. Technol. Work*, vol. 15, no. 4, pp. 475–482, 2013.
- [König.2002] W.König, K.Weiß, C. Mayser „S.A.N.T.O.S Situations – Angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung“ *Gemeinsamer Projektabschlussbericht der Robert Bosch GmbH und der BMW Group*, 23.07.2002
- [Lefèvre.2015] S. Lefèvre, A. Carvalho, Y. Gao, H. E. Tseng and F. Borrelli, "Driver models for personalized driving assistance", *Vehicle System Dynamics*, vol. 53, no. 12, 2015.
- [Lu.2015] Lu, Z., & de Winter, J. C. F. (2015). A review and framework of control authority transitions in automated driving. *6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences*, 00, 901–908.
- [Ludwig.2014] J. Ludwig, G. Diehm, M. Flad, S. Hohmann, "Optimal Interaction Structure of Human Drivers Cooperation: A Pilot Study", *International Conference on System, Man and Cybernetics*, 2014.

[Ly.2013] M. V. Ly, S. Martin, and M. Trivedi, "Driver classification and driving style recognition using inertial sensors," in Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013 IEEE, June 2013, pp. 1040–1045.

[Ma.2005] R. Ma, D. Kaber, "Situation Awareness and Workload in Driving While Using Adaptive Cruise Control and a Cell Phone." *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35 (10): 939–953, 2005.

[Martin.2014] M. Martin, F. van de Camp, R. Stiefelhagen, Real-time head model creation and head pose estimation on consumer depth cameras, in 2nd International Conference on 3D Vision, Tokyo, Japan, 2014

[Merat.2014] N. Merat, Jamson, A. Hamish, Lai, F. Frank C. H., M. Daly, and Carsten, Oliver M. J., "Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle," *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 26, Part A, no. 0, pp. 1–9, 2014.

[Merat.2012] N. Merat, Jamson, A. Hamish, Lai, F. Frank C. H., M. Daly, and Carsten, Oliver M. J. "Control Task Substitution in Semiautomated Driving: Does it Matter What Aspects are Automated?" *Human Factors*, 54 (5): 747–761, 2012.

[NationalHighwayTrafficSafetyAdministration.2013] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), "Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles," National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), NHTSA 14-13, 2013.

[Norman.1989] D. A. Norman, "The 'Problem' of Automation: Inappropriate Feedback and Interaction, not 'Overautomation,'" 1989.

[Ochs.2014] M. Ochs, A. Schick, R. Stiefelhagen, Erfassung der Oberkörperpose im KFZ, *Mensch & Computer 2014*, München, 2014

[Oh.2005] C. Oh, J.-S. Oh, and S. Ritchie. "Real-time hazardous traffic condition warning system: framework and evaluation". *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 6(3):265–272, Sept 2005.

[Ohn-Bar.2014] E. Ohn-Bar, S. Martin, A. Tawari and M. Trivedi, "Head, Eye, and Hand Patterns for Driver Activity Recognition", *Proceedings of IEEE International Conference on Pattern Recognition*, 2014.

[Parasuraman.2014] R. Parasuraman, K. Cosenzo, and E. De Visser, "Adaptive Automation for Human Supervision of Multiple Uninhabited Vehicles: Effects on Change Detection, Situation Awareness, and Mental Workload." *Military Psychology*, 21 (2): 270, 2009.

[Paschek.2001] Laurin Paschek "Optische Insassendetektion mit 3D-Kamera vor Serieneinsatz", <https://www.springerprofessional.de/en/automobil---motoren/optische-insassendetektion-mit-3d-kamera-vor-serieneinsatz/6579704?redirect=1>

[Petermann-Stock.2013] I. Petermann-Stock, L. Hackenberg, T. Muhr and C. Mergl, "Wie lange braucht der Fahrer? – Eine Analyse zu Übernahmezeiten aus verschiedenen Nebentätigkeiten während einer hochautomatisierten Staufahrt," in 6. Tagung Fahrerassistenz, München 2013.

[Petermeijer.2015] S. M. Petermeijer, J. C. F. De Winter, and K. J. Bengler, "Vibrotactile Displays : a Survey With a View on Highly Automated Driving," 2015.

[Petersen.2019] L. Petersen; L. Robert; J. Yang and D. Tilbury: "Situational Awareness, Driver's Trust in Automated Driving Systems and Secondary Task Performance," *SAE Int. J. of C AV* 2(2):2019, doi:10.4271/12-02-02-0009, 2019.

- [Pickering.2007] C. A. Pickering, K. J. Burnham, and M. J. Richardson, "A Research Study of Hand Gesture Recognition Technologies and Applications for Human Vehicle Interaction," in Proceedings of the Institution of Engineering and Technology Conference on Automotive Electronics, pp. 1–15, 2007.
- [Pilutti.1999] T. Pilutti and A. Ulsoy. "Identification of driver state for lane-keeping tasks". Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on, 29(5):486–502, Sep 1999.
- [Rosnow.2008] R. L. Rosnow and R. Rosenthal, Beginning Behavioral Research: A Conceptual Primer, 6th ed.: Pearson, 2008.
- [Rybok.2011] L. Rybok, S. Friedberger, U. D. Hanebeck, and R. Stiefelhagen, "The kit robo-kitchen data set for the evaluation of view-based activity recognition systems," in Proceedings of the 11th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp. 128–133, 2011.
- [Rybok.2014] L. Rybok, B. Schauerte, Z. Al-Halah, and R. Stiefelhagen, "Important stuff, everywhere! activity recognition with salient proto-objects as context," in Proceedings of the IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), pp. 646–651, 2014.
- [SAE.201401] Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, SAE J3016, 2014.
- [Sauter.2014] P. Sauter, M. Flad, S. Hohmann, "Subliminal Optimal Longitudinal Vehicle Control for Energy Efficient Driving", International Conference on System, Man and Cybernetics, 2014.
- [Sawhney.2013] W. Li, Q. Yu, H. Sawhney, and N. Vasconcelos, "Recognizing activities via bag of words for attribute dynamics," in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 2587–2594, 2013.
- [Schieben.2008] A. Schieben, D. Damböck, J. Kelsch, H. Rausch, and F. Flemisch, "Haptisches Feedback im Spektrum von Fahrerassistenz und Automation," Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, vol. 2008, 2008.
- [Schöneburg.2003] R. Schöneburg, K. Baumann, R. Justen „PRE-SAFE - THE NEXT STEP IN THE ENHANCEMENT OF VEHICLE SAFETY" the 18th ESV Conference
- [Schulz.2008] A.Schulz, R.Frömig „Analyse des Fahrerverhaltens zur Darstellung adaptiver Eingriffsstrategien von Assistenzsystemen“ ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift, Dezember 2008, , Volume 110, Issue 12, pp 1124-1131
- [Schulz.2012] A. Schulz and R. Stiefelhagen, "Video-based pedestrian head pose estimation for risk assessment", Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), Anchorage, Alaska, 2012
- [Schulz.2015] A. Schulz and R. Stiefelhagen, "Pedestrian Intention Recognition using Latent-Dynamic Conditional Random Fields", Intelligent Vehicles Symposium (IV), Seoul, Korea, 2015
- [Schwarz.2015] A. Schwarz, E.-S. Wacker, M. Martin, M. Saquib Sarfraz, and R. Stiefelhagen, 3D Facial Landmark Detection: How to Deal with Head Rotations?, German Conference on Pattern Recognition (GCPR), Aachen, 2015
- [Tapia.2013] R. Tapia-Espinoza and M. Torres-Torriti. "Robust Lane Sensing and Departure Warning under Shadows and Occlusions". SENSORS, 13(3):3270–3298, MAR 2013.
- [Torkkola.2004] K. Torkkola, N. Massey, and C. Wood. "Driver inattention detection through intelligent analysis of readily available sensors". Intelligent Transportation Systems, 2004. Proceedings. The 7th International IEEE Conference on, pages 326–331, Oct 2004.

[Tran.2009] Cuong Tran and M. M. Trivedi, "Introducing 'XMOB': Extremity Movement Observation Framework for Upper Body Pose Tracking in 3D," in Proceedings of IEEE International Symposium on Multimedia, 2009.

[TUM.2020]: <http://www.lfe.mw.tum.de/forschung/labore/statischer-fahrsimulator/>, 2020.

[Ussat.2012] C. Ussat, "Personalisierte Optionsauswahl im Fahrzeuginformationssystem", Dissertation HU Berlin, 2012.

[Vemulapalli.2013] R. Vemulapalli, F. Arrate, and R. Chellappa, "Human action recognition by representing 3d skeletons as points in a lie group," in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 588–595, 2013.

[Volvo.2015]16.02.2015<http://support.volvocars.com/de/cars/Pages/owners-manual.aspx?mc=Y381&my=2015&sw=14w20&article=34588951f78e3536c0a801e8012f6a6a>

[Wang.2010] J.-G. Wang, C.-J. Lin, and S.-M. Chen. "Applying fuzzy method to vision-based lane detection and departure warning system". EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS, 37(1):113–126, JAN 2010.

[Wang.2011] H. Wang, A. Klaser, C. Schmid, and C.-L. Liu, "Action recognition by dense trajectories," in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 3169–3176, 2011.

[Wickens.2000] Wickens, C. D., & Hollands, J. G. (2000). Engineering psychology and human performance. Columbus: Merrill.

[Winner.2009] H. Winner, S. Hakuli, and G. Wolf. Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. Springer, 2009.

[Wu.2012] C.-F. Wu, C.-J. Lin, and C.-Y. Lee. „Applying a Functional Neurofuzzy Network to Real-Time Lane Detection and Front-Vehicle Distance Measurement". IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS MAN AND CYBERNETICS PART C-APPLICATIONS AND REVIEWS, 42(4):577–589, JUL 2012.

[Zhong.2007] Y.-J. Zhong, L.-P. Du, K. Zhang, and X.-H. Sun. "Localized energy study for analyzing driver fatigue state based on wavelet analysis". Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 2007. ICWAPR '07. International Conference on, 4:1843– 1846, Nov 2007.

[Zimmermann.2014] M. Zimmermann, S. Bauer, N. Lütteken, I. M. Rothkirch, and K. J. Bengler, "Acting together by mutual control: Evaluation of a multimodal interaction concept for cooperative driving," in 2014 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2014, pp. 227–235.

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Abschlussbericht zum BMBF-Förderprojekt PAKoS – Evaluation personalisierter, adaptiver kooperative Systeme aus Nutzerperspektive	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Irmer, Beate Mazewitsch, Marcus Lange, Carolin Rigley, Philip	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2019
	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation Broschüre
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Spiegel Institut Mannheim GmbH & Co. KG Hermshheimer Straße 5 68163 Mannheim	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 16SV7681
	11. Seitenzahl 55
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 87
	14. Tabellen 21
	15. Abbildungen 19
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	

## 18. Kurzfassung

### Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik

Einer rasanten Entwicklung im Bereich der Sensorik und Fahrfunktionen für automatisiertes Fahren steht das weitgehende Fehlen adäquater individueller Interaktion zwischen Mensch und Maschine beim automatisierten Fahren gegenüber: Bei heutigen Assistenzsystemen erfolgt die Übergabe des Fahrzeugs an den Fahrer lediglich binär und generalisiert. Überträgt man dieses Kontrollübergabekonzept unreflektiert auf teil- oder hochautomatisierte Fahrzeuge, wird dies zu „out of the loop“-Effekten führen – der langsamen Erkennung der Verkehrssituation, des Automationsmodus und der Fahraufgabe durch den Fahrer während der Übergabe und der daraus resultierenden unzureichenden Handlung des Menschen. Der erforderliche Paradigmenwechsel in der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion bei der Kontrollübergabe hat aus zwei Gründen noch nicht stattgefunden: Einerseits fehlt ein adäquater wissenschaftlicher Fortschritt –insbesondere im Bereich der Personalisierung– in einzelnen Disziplinen. Deren Lücken werden nachfolgend kurz beschrieben. Andererseits fehlt eine enge Vernetzung der Teillösungen zu einem ganzheitlichen Kooperations-Konzept.

### Begründung/Zielsetzung der Untersuchung

Das Verbundprojekt „PAKoS: Personalisierte, adaptive kooperative Systeme für automatisierte Fahrzeuge“ verfolgte daher erstmalig das Ziel, einen personalisierten Kooperationsmanager zu entwickeln und umzusetzen, der die Interaktion zwischen Mensch und automatisiertem Fahrzeug optimiert und mit einem gemeinsamen Handlungsraum ein planbares Verhalten unterstützen soll.

Um dies zu erreichen, standen vier Bereiche im Fokus des Förderprojekts:

1. Die Erkennung des Nutzerzustandes
2. Die Personalisierung und Nutzerprofilbildung
3. Die personalisierte Adaption und Kooperation der Automation
4. Die Gestaltung kooperativer Interaktions- und Nutzerschnittstellenkonzepte

In diesem Teilvorhaben lagen die Schwerpunkte auf der Ermittlung der Anforderungen der Nutzer- und anderer Stakeholder und auf der empirischen Absicherung der erarbeiteten Konzeptansätzen in Versuchen mit Demonstratoren und Realfahrzeugen.

### Methode

In einem ersten Schritt wurden die Szenarien Fahrkooperation, Individualisierung der Konfiguration und portable Personalisierung definiert sowie die relevanten Use-Cases und Situationen als Grundlage für die folgenden Arbeitspakete ausgearbeitet. Zusätzlich definierte das Spiegel Institut ein Methodenset, das für die Ausarbeitung der Anforderungsdefinition genutzt wurde.

Für die Konzepterarbeitung wurden im Rahmen der Anforderungsanalyse drei Personas gebildet (Persona „selbstbewusst“, Persona „ausgeglichen“, Persona „vorsichtig“) und Nutzungsanforderungen an die Personalisierung von Fahrerassistenzfunktionen und die Adaptivität der Fahrerübergabe formuliert.

Die Evaluation der Übernahmepfanz erfolgte im Rahmen von zwei Studien im Fahrsimulator. Kooperationsqualität und Usability der erarbeiteten Konzepte wurden in der abschließenden Realfahrtstudie auf einem Testgelände überprüft.

### Ergebnis

In der Simulatorstudie konnte eine deutliche Verbesserung der Übernahmepfanz durch ein System mit personalisiertem HMI beobachtet werden: Die Nachvollziehbarkeit einer Ausweichsituation höher bewertet und diese Situation tendenziell harmloser und unkritischer erlebt, als ohne personalisiertes HMI. Zudem wurde das System mit personalisiertem HMI hinsichtlich der Aspekte zur Intuitivität, zum mentalen Modell der aktuellen Situation, zur Aufgabenangemessenheit und zur Handlungsleitung besser bewertet als eine nicht auf die Teilnehmergruppe angepasstes HMI. Bei den selbstbewussten Fahrern trug ein personalisiertes HMI dazu bei, das Situationsbewusstsein zu erhöhen. Bei den vorsichtigen Fahrern steigerte eine personalisierte HMI das Vertrauen in das System erheblich.

In der Ausweichsituation konnte beobachtet werden, dass sich die Teilnehmer mit der Reglervariante Standard signifikant souveräner fühlen, als bei einer reglerseitig adaptiven Lenkunterstützung.

Die anschließende Realfahrtstudie bestand aus drei Teilen: einer Fahrt ohne Regeleinriffe („manuelles Fahren“), einer automatisierten Fahrt nach den zuvor erhobenen Geschwindigkeitsparametern der manuellen Fahrt („personalisiertes Fahren“) und einer automatisierten Fahrt mit individueller Anpassung der Geschwindigkeitsparameter durch den Teilnehmer („individualisiertes Fahren“).

Hier zeigte sich, dass das individualisierte Fahren im Vergleich zum personalisierten Fahren als harmloser, kontrollierbarer und unkritischer empfunden. Die Teilnehmer gaben auch an, dass sie sich während der Fahrt entspannter und sicherer fühlten.

Grundsätzlich sind die von allen Beteiligten im Rahmen der Individualisierung vorgenommenen Anpassungen im Durchschnitt eher gering (z.B. Geschwindigkeitsanpassungen +/- 2 km/h). Betrachtet man jedoch die eingestellte (individualisierte) Geschwindigkeit, so ist eine Tendenz erkennbar: Auf Streckenabschnitten, die als kritischer einzustufen sind wird die Geschwindigkeit tendenziell leicht reduziert. Auf Straßenabschnitten, die als weitgehend unkritisch einzustufen sind, wird die Geschwindigkeit leicht erhöht oder überhaupt nicht verändert.

Bei der Analyse der Geschwindigkeitsanpassung auf der Ebene der Nutzergruppen wurden größere

Individualisierungsbemühungen sichtbar: der selbstbewusste Fahrer reguliert die eingestellte Geschwindigkeit auf der Autobahn herunter, während der vorsichtige Fahrer die Geschwindigkeit auf dem gleichen Streckenabschnitt erhöht. Durch diese Anpassung nähern sich die Gruppen ihrem automatisierten Fahrstil an.

Das Vertrauen in das System und die Absicht, es zu nutzen, steigen von einem Grundwert im personalisierten automatisierten Fahren zu einem höheren Wert im individualisierten Fahren. Der vorsichtige Fahrer weist zunächst das geringste Vertrauen in das System und die geringste Nutzungsabsicht auf. Beide Werte steigen jedoch aufgrund der tatsächlichen Erfahrung mit dem System in den personalisierten und individualisierten Fahrten an.

### Schlussfolgerungen

Insgesamt betont die überwiegende Mehrheit der Teilnehmer den positiven Gesamteindruck des Systems.

Um sich noch wohler zu fühlen, wünschen sich die Teilnehmer vor allem ein weiches, natürlicheres, vorausschauendes Fahrverhalten. Interessant ist, dass von allen drei Nutzergruppen der vorsichtige Fahrer am meisten von der Individualisierung im Hinblick auf Systemvertrauen und Nutzungsabsicht zu profitieren scheint.

## 19. Schlagwörter

Adaptiv, kooperativ, individualisiert, personalisiert, Akzeptanz, Nutzungsanforderung, Fahrverhalten, Simulatorstudie, Fahrsimulator, Fahrerassistenzsystem, Evaluation

## 20. Verlag

## 21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN scheduled	2. type of document (e.g. report, publication) report
3. title Abschlussbericht zum BMBF-Förderprojekt PAKoS – Evaluation personalisierter, adaptiver kooperative Systeme aus Nutzerperspektive	
4. author(s) (family name, first name(s)) Irmer, Beate Mazewitsch, Marcus Lange, Carolin Rigley, Philip	5. end of project 31.12.2019
	6. publication date scheduled
	7. form of publication booklet
8. performing organization(s) (name, address) Spiegel Institut Mannheim GmbH & Co. KG Hermshheimer Straße 5 68163 Mannheim	9. originator's report no.
	10. reference no. 16SV7681
	11. no. of pages 55
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 87
	14. no. of tables 21
	15. no. of figures 19
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	

18. abstract

**Current State of Science and Technology**

The rapid development in the field of sensor technology and driving functions for automated driving is contrasted by the substantial lack of adequate individual interaction between man and machine in automated driving: With current assistance systems, the transfer of the vehicle to the driver is only carried out in binary and generalised form. If this transfer of control concept is applied without reflection to partially or highly automated vehicles, this will lead to "out of the loop" effects – the slow recognition of the traffic situation, automation mode and driving task by the driver during the handover and the resulting inadequate human action. The necessary paradigm shift in driver-vehicle interaction at the transfer of control has not yet taken place for two reasons: On the one hand, there is a lack of adequate scientific progress – especially in the area of personalisation – in individual disciplines. Their gaps are briefly described below. On the other hand, a close networking of the partial solutions into a holistic cooperation concept is missing.

**Reasons/Objectives of the Study**

For the first time, the joint project "PAKoS - Personalised, Adaptive Cooperative Systems for highly automated cars" pursued the goal of developing and implementing a personalised cooperation manager that optimises the interaction between humans and automated vehicles and is intended to support predictable behaviour with a common action space.

To achieve this, the funding project focused on four areas:

1. Recognition of the user status
2. Personalisation and user profiling
3. Personalised adaptation and cooperation of automation
4. Design of cooperative interaction and user interface concepts

In this sub-project, the focus was on determining the requirements of users and other stakeholders and on the empirical validation of the developed conceptual approaches in tests with demonstrators and real vehicles.

**Method**

In a first step, the scenarios driving cooperation, individualisation of the configuration and portable personalisation were defined and the relevant use cases and situations were worked out as a basis for the subsequent work packages.

In addition, Spiegel Institut defined a set of methods that was used for the development of the requirements definition.

For the concept development, three personas were formed within the framework of the requirements analysis (persona "self-confident", persona "balanced", persona "cautious") and usage requirements for the personalisation of driver assistance functions and the adaptivity of the driver transfer were formulated.

The evaluation of the takeover performance was carried out in two studies in the driving simulator. The cooperation quality and usability of the developed concepts were evaluated in the final real-life study on a test site.

**Results**

In the simulator study, a significant improvement in takeover performance was observed by a system with personalized HMI: The comprehensibility of an avoidance situation was rated higher and this situation tended to be experienced more harmlessly and uncritically than without a personalized HMI. Additionally, the system with personalized HMI was rated better than an HMI not adapted to the group of participants with regard to aspects of intuitiveness, the mental model of the current situation, task adequacy and action guidance. Among the cautious drivers, a personalized HMI significantly increased confidence in the system. In the avoidance situation, it was observed that the participants felt significantly more confident with the controller variant Standard than with an adaptive steering assistance on the controller side.

The subsequent real-driving study consisted of three parts: a drive without control intervention ("manual driving"), an automated drive according to the previously collected speed parameters of manual driving ("personalised driving") and an automated drive with individual adjustment of the speed parameters by the participant ("individualised driving").

This study showed that individualised driving is perceived as more harmless, more controllable and less critical than personalised driving. The participants also stated that they felt more relaxed and secure during the individualised drive. Generally, the adjustments made by all those involved in the individualisation process are on average rather small (e.g. speed adjustments +/- 2 km/h). However, if one looks at the set (individualised) speed, a tendency can be seen: On sections of the route that are to be classified as more critical, the speed tends to be slightly reduced. On sections that are to be classified as largely uncritical, the speed is slightly increased or not changed at all.

The analysis of speed adaptation at the level of user groups revealed greater individualisation efforts: the confident driver reduces the set speed on the motorway, while the cautious driver increases the speed on the same stretch of road. Through this adaptation the groups approach their automated driving style.

Trust in the system and the intention to use it increase from a basic value in personalised automated driving to a higher value in individualised driving. The cautious driver initially shows the least confidence in the system and the least intention to use it.

However, both values increase due to the actual experience with the system in the personalised and individualised trips.

**Conclusions**

Overall, the overwhelming majority of participants emphasize the positive overall impression of the system.

To feel even more comfortable, the participants wish above all for a softer, more natural, anticipatory driving style. It is interesting to note that of all three user groups the cautious driver seems to benefit most from individualization in terms of trust in the system and intention to use.

19. keywords

Adaptive, cooperative, individualised, personalised, acceptance, usage requirements, driving behaviour, simulator study, driving simulator, driver assistance system, evaluation

20. publisher

21. price