

## Abschlussbericht



## EMPATHISCHE MENSCH-MASCHINE INTERAKTION

<b>Förderprogramm</b>	Ein Vorhaben des Themenfeldes „Mensch-Maschine-Interaktion“ des BMWK Fachprogramms „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“
<b>Akronym und Titel</b>	EMMI - Empathische Mensch-Maschine-Interaktion zur Erhöhung der Akzeptanz des Automatisierten Fahrens
<b>Zuwendungsempfänger/in</b>	RWTH Aachen University Institut für Kraftfahrzeuge (ika)
<b>Förderkennzeichen</b>	19A20008F
<b>Laufzeit</b>	01.09.2020 bis 31.12.2023
<b>Partnerspezifischer</b>	
<b>Projektleiter/in</b>	Tobias Oetermann, M.Sc.  Steinbachstraße 7 +49 241 80-29388 tobias.oetermann@ika.rwth-aachen.de
<b>Berichtszeitraum</b>	01.09.2020 – 31.12.2023

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b><i>Kurzdarstellung</i></b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b><i>Projektergebnisse, Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele &amp; Angemessenheit der geleisteten Arbeit</i></b> .....	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>AP 1 Theoretische Vertrauensmodellierung</b> .....	<b>5</b>
	Schritt 1: Literaturbasierte Identifikation vertrauensrelevanter Situationen des (automatisierten) Fahrens .....	6
	Schritt 2: Literaturbasierte Erarbeitung eines Klassifikationsschemas für relevante, vertrauenskritische Fahrsituationen .....	10
	Schritt 3: Ableitung und Bewertung konkreter Anwendungssituationen .....	12
<b>2.2</b>	<b>AP3: Realfahrtstudie und Parametrisierung des Modells</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>AP4: Agile Entwicklung der multimodalen Mensch-Maschine-Interaktion</b> .....	<b>26</b>
	Ermittlung eines initialen Anforderungsprofils aus Nutzersicht hinsichtlich der relevanten Ebenen eines MMI Systems nach den ESoP .....	26
	Berücksichtigung von Gesetzgebung, Standards und Guidelines .....	27
	Analyse ähnlicher Systeme außerhalb des Fahrzeugkontextes .....	27
	Anforderungsermittlung aus Nutzersicht .....	28
<b>2.4</b>	<b>AP 6: Situationsangepasste Visualisierung von Fahrzeuginformationen</b> .....	<b>30</b>
	Lösungsansätze .....	31
	Expertenbefragung .....	34
	Ergebnisse .....	35
	Finale Umsetzung .....	36
<b>2.5</b>	<b>AP 9: Indirekter Nutzereingriff in das Fahrverhalten</b> .....	<b>37</b>
	Definition von relevanten Fahrparametern der automatisierten Fahrt .....	38
	Evaluation der Eignung unterschiedlicher Modalitäten .....	40
	Exemplarische Umsetzung von Konzepten zur Adaption der definierten Fahrparameter .....	42
	Expertenbefragung und Ergebnisse .....	46
<b>2.6</b>	<b>AP 10: Aufbau der MMI Prototypen und Evaluation</b> .....	<b>48</b>
<b>3</b>	<b><i>Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises</i></b> .....	<b>53</b>
<b>4</b>	<b><i>Verwertungsplan (Fortschreibung)</i></b> .....	<b>54</b>
<b>5</b>	<b><i>Ergebnisse von dritter Stelle</i></b> .....	<b>55</b>
<b>6</b>	<b><i>Veröffentlichungen</i></b> .....	<b>55</b>
<b>7</b>	<b><i>Literatur</i></b> .....	<b>55</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung des Gesamtvorgehens im AP1.1.....	6
Abbildung 2: Darstellung des methodischen Vorgehens bei der Literaturrecherche zur Identifikation vertrauenskritischer Fahrsituationen aus der Nutzerperspektive.....	7
Abbildung 3: Darstellung des methodischen Vorgehens bei der Recherche zur Identifikation vertrauenskritischer Fahrsituationen aus der Systemperspektive.....	8
Abbildung 4: Theoretisches Rahmenwerk zum Zusammenspiel zwischen Trust in Automation und Akzeptanz im Kontext des automatisierten Fahrens [DAU22].....	15
Abbildung 5: Schematische Darstellung des WoOz-Gesamtfahrzeugkonzeptes.....	18
Abbildung 6: Wizard-of-Oz Fahrzeug (Wizard-Arbeitsplatz in Fahrtrichtung Rechts).....	19
Abbildung 7: Außenauftritt zur Erhöhung der Immersion des Versuchsfahrzeuges.....	20
Abbildung 8: Routenführung der in der Realfahrtstudie gefahrenen Strecke.....	23
Abbildung 9: Darstellung der deskriptiven Ergebnisse der Kurzabfragen zu Vertrauen und Misstrauen im Fahrtverlauf in unterschiedlichen Fahrsituationen.....	24
Abbildung 10: Querschnitt der potenziellen Zielgruppe der zu entwickelnden HMI Konzepte anhand charakteristischer Personas.....	29
Abbildung 11: Skizzen zur Integration potenzieller NDRAs in ein automatisiertes Fahrzeug.....	31
Abbildung 12: Informationsbedarf während der hochautomatisierten Fahrt Teil 1.....	32
Abbildung 13: Beispielhafte Visualisierung einer Anzeige zur Steigerung des Verständnisses für automatisierte Fahrfunktionen.....	32
Abbildung 14: Informationsbedarf während der hochautomatisierten Fahrt Teil 2.....	33
Abbildung 15: Vertrauenskritische Situationen.....	34
Abbildung 16: Bewertete Vertrauenskritikalität der Situationen.....	35
Abbildung 17: Draufsicht der entwickelten städtischen Umgebung in virtueller Realität.....	36
Abbildung 18: AR-HUD Konzepte für den Fußgängerüberweg (links) und die Autobahnbaustelle (rechts).....	36
Abbildung 19: Ansicht des Blackprint Displays auf der Autobahn.....	37
Abbildung 20: Übersicht der verfügbaren Adaptionen der automatisierten Fahrzeugführung.....	40
Abbildung 21: Informationsübertragung in Mensch-Maschine-Systemen [SCH10].....	41
Abbildung 22: Informationen, welche vorzugsweise auditive oder visuell übermittel werden [SAN93].....	41
Abbildung 23: Exemplarische Umsetzung des Interaktionskonzeptes basierend auf den primären Bedienelementen....	44
Abbildung 24: Drehmomentprofil des Sticks (hier: laterale Kontrolle - x-Achse).....	45
Abbildung 25: Exemplarische Umsetzung des Interaktionskonzeptes basierend auf einem dedizierten Bedienelement.	45
Abbildung 26: Simulierte Szenarien der Studie.....	47
Abbildung 27: In EMMI aufgebaute Entwicklungs- und Evaluationsumgebungen.....	49
Abbildung 28: Reihenfolge der vertrauenskritischen Fahrsituationen im hochdynamischen Fahrsimulator.....	51

## 1 Kurzdarstellung

Im Rahmen des Verbundvorhabens EMMI hat das Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University Inhalte in den AP1, AP3, AP4, AP6, AP9 und AP10 erarbeitet.

Arbeitsinhalt von AP1 ist die theoretische Vertrauensmodellierung. Hierbei erfolgte die literaturbasierte Identifikation von vertrauensrelevanten Fahrsituationen eines automatisierten Systems und die Ergänzung aus Nutzersicht in Form von qualitativen Interviews. Hierbei wurden nicht nur Verkehrssituationen und Umgebungsfaktoren, sondern auch die Systemperspektive aus technischer Sicht betrachtet. Auf Basis der Ergebnisse erfolgte literaturbasiert die Erarbeitung eines Klassifikationsschemas für relevante, vertrauskritische Fahrsituationen. Schließlich erfolgte in AP1 die Erarbeitung eines literaturbasierten, theoretischen Rahmenwerks zum Zusammenhang von Vertrauen und Technikakzeptanz sowie die Sammlung verschiedener behavioraler, physiologischer und psychologischer Korrelate für Vertrauen.

Arbeitsinhalt von AP3 ist einerseits die Konzeption und der Aufbau des Untersuchungswerkzeugs für die Realfahrtstudie. Als Untersuchungswerkzeug wurde ein sogenanntes Wizard-of-Oz Fahrzeug entwickelt und aufgebaut, um die Durchführung einer Probandenstudie im Realverkehr zu ermöglichen, ohne eine automatisierte Fahrzeugführung abzubilden. Dies ist einerseits kostensensitiver, hat vorrangig aber den Vorteil, komplexere Zulassungsprozesse für automatisierte Forschungsfahrzeuge zu umgehen. Ein weiterer wesentlicher Bestandteil des AP3 ist die Durchführung der Realfahrtstudie mit dem Versuchsfahrzeug. Ziel der Studie war es, Fahrsituationen im realen Verkehrsgeschehen zu identifizieren, welche für durchschnittliche Nutzer\*innen während einer hochautomatisierten Fahrt (SAE L4+) vertrauensrelevant sind. Die identifizierten Fahrsituationen dienen für das weitere Projektgeschehen als Grundlage der Entwicklung der HMI-Konzepte sowie der Fahrsimulatorstudien.

Arbeitsinhalt von AP4 ist die Definition einer ersten Version einer Anforderungsliste für die einzelnen MMI Konzepte, welche in den nachfolgenden Arbeitspaketen entwickelt werden. Die Anforderungsermittlung erfolgt dabei basierend auf unterschiedlichen Anforderungsquellen. Im weiteren Projektverlauf ist ebenso die Überwachung und aktive Begleitung der Entwicklungen innerhalb der AP5 bis AP9 Bestandteil von AP4. Das Ziel war es, die Integrierbarkeit der Entwicklungen in einem Gesamtkonzept für die abschließende Nutzerstudie gewährleisten zu können. Eine entsprechende Synthese zu einem umfänglichen Gesamtkonzept stellt somit den Abschluss des AP4 dar.

Arbeitsinhalt des AP6 ist die Entwicklung von visuellen HMI-Konzepten zur Beeinflussung des Nutzervertrauenszustandes. Dabei wurde der Fokus auf die Analyse unterschiedlicher Abstraktionsgrade und Visualisierungsformen sowie verschiedener Anzeigeorte und Anzeigedauern gelegt. Das Ziel war es, durch Transparenz der Automation und Visualisierung von Fahrzeuginformationen das Vertrauen der Nutzenden in die Automatisierung zu beeinflussen. Dabei wurden die Anzeigen an die jeweilige Fahrsituation angepasst, um dem Nutzenden immer die relevantesten Informationen zu präsentieren und ihn nicht zu überlasten. Die Konzepte wurden iterativ weiterentwickelt und abschließend in der finalen Evaluation auf ihre Wirksamkeit getestet.

Arbeitsinhalt des AP9 ist die Entwicklung eines indirekten Nutzereingriffs in die hochautomatisierte Fahrzeugführung. Die indirekte Fahrzeugführung verfolgt das Ziel, den Nutzenden die Möglichkeit zur Verfügung zu stellen, Einfluss auf die automatisierte Fahrzeugführung zu nehmen. Der Einfluss

erfolgt dabei jedoch nicht als direkter Durchgriff auf die Fahrtrajektorie des Fahrzeugs, sondern wird als Anfrage an das automatisierte System übermittelt, welches prüft, ob die Umsetzung der Anfrage im aktuellen Verkehrsgeschehen ohne negativen Einfluss auf die Verkehrssicherheit möglich ist. Innerhalb des AP9 wurden Fahrparameter identifiziert, welche innerhalb spezifischer sicherheitsrelevanter Grenzen dem Nutzenden parametrierbar zur Verfügung gestellt werden. Basierend auf dem Parameterset wurde eine Interaktionslogik entwickelt, welche anschließend in Form unterschiedlicher Konzepte umgesetzt und untersucht wurde. Ziel war es, die Eignung unterschiedlicher menschlicher Eingabemodalitäten für die Konzeptrealisierung zu prüfen. In der abschließenden Evaluation wurde der Einfluss zweier haptischer Konzepte auf die relevanten Konstrukte „Vertrauen in die automatisierte Fahrzeugführung“, „Technologieakzeptanz“ und „User Experience“ untersucht. Die Testung zweier Konzepte verfolgte das Ziel, eine potenzielle Überdeckung vorhandener Effekte durch eine unzureichende Konzeptumsetzung zu vermeiden.

Arbeitsinhalt des AP10 ist die Entwicklung und der Aufbau der notwendigen Hardware- und Testinfrastruktur zur Evaluierung der Konzeptansätze. Das Verbundvorhaben hat einen mehrstufigen Evaluationsprozess vorgesehen, um die Wirksamkeit der entwickelten Konzepte iterativ erproben und verbessern zu können. Die erste Stufe des Evaluationsprozesses umfasst die virtuelle Evaluation. Zu diesem Zweck wurde am Institut eine virtuelle Testumgebung bestehend aus leistungsfähiger VR-Brille und virtuellem Testgelände basierend auf der Unity Entwicklungsumgebung entwickelt. Dieser Evaluationsschritt war speziell für die Visualisierungskonzepte des AP6 besonders sinnvoll. Im nächsten Schritt erfolgte die Evaluation in Form von Funktionsprototypen, welche mithilfe des im Zuge des Projektes entwickelten HMI-Prüfstands durchgeführt wurden. Durch eine statische Simulation gestützt konnten so vorrangig die haptischen Interaktionskonzepte des AP9 untersucht werden. Die abschließende Evaluation des Gesamtsystems wurde im hochdynamischen Fahrsimulator des ika durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden die Systeme in ein innerhalb des Projektes aufgebautes Fahrzeug-Mock-Up integriert. Dieser Prozess wurde maßgeblich von AP4 unterstützt und koordiniert. In der abschließenden Simulatorstudie konnten Erkenntnisse und weitere Forschungsbedarfe zu den entwickelten Systemen gewonnen werden.

## **2 Projektergebnisse, Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele & Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

### **2.1 AP 1 Theoretische Vertrauensmodellierung**

Im Rahmen des AP1.1 wurden drei Ziele verfolgt. In einem ersten Schritt wurde eine literaturbasierte Identifikation vertrauensrelevanter Fahrsituationen des automatisierten Fahrens durchgeführt. In einem zweiten Schritt erfolgte die Erstellung eines Klassifikationsschemas zur Beschreibung vertrauskritischer Fahrsituationen. Zuletzt wurden in einem dritten Schritt konkrete Beispielsituationen anhand der abgeleiteten Kriterien bewertet. Das Gesamtvorgehen des AP1.1 ist in Abbildung 1 grafisch dargestellt.

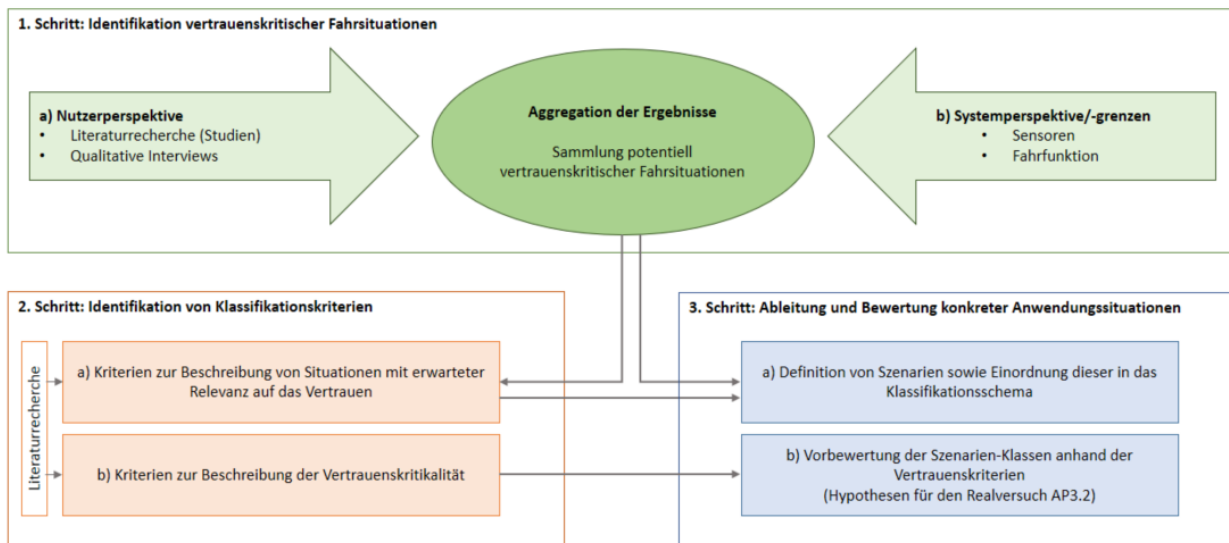


Abbildung 1: Darstellung des Gesamtverfahrens im AP1.1.

Im Folgenden werden die methodische Vorgehensweise sowie die zentralen Ergebnisse des AP1.1 zusammenfassend geschildert.

### Schritt 1: Literaturbasierte Identifikation vertrauensrelevanter Situationen des (automatisierten) Fahrens

Eine zentrale Annahme im Rahmen der Antragsstellung war, dass das Vertrauen in ein automatisiertes System von drei Komponenten beeinflusst wird: von der jeweiligen Person selbst, dem System und der spezifischen Situation [HOF15]. Im Rahmen des AP1.1 sollte zunächst der dritte Punkt – vertrauskritische Fahrsituationen - im Kontext des automatisierten Fahrens entsprechend dem Projektfokus für die SAE Level 4/5 ausführlicher betrachtet werden.

Zu Beginn der Arbeiten wurde die Prämisse formuliert, dass der Fokus der Recherche auf der Identifikation von Umgebungsfaktoren liegt, die außerhalb des Fahrzeugs existieren. Der Prämisse entsprechend wurden Eigenschaften des Fahrers sowie Fahrmanöver und Verhaltensweisen des Fahrzeugs zunächst nicht berücksichtigt. Grund für eine solche Fokusausrichtung war die Annahme, dass (hoch)dynamische Fahrmanöver bei SAE Level 4 bzw. 5 Fahrzeugen im Normal-/Regelbetrieb nicht zu erwarten sind. Sollten (hoch)dynamische Fahrmanöver der Quer- oder Längsführung auftreten, dann nur, wenn dies zwingend erforderlich ist (bspw. zur Abwendung einer Kollision). Unter Beachtung dieser Prämisse erfolgte die Literaturrecherche zur Identifikation vertrauensrelevanter Fahrsituationen. Dabei wurde die Recherche aus zwei Richtungen betrieben: aus der Nutzer- und der Systemperspektive (siehe Abbildung 1, Schritt 1a und 1b).

Bei der Recherche zur Nutzerperspektive wurden wissenschaftliche Paper zu Nutzerstudien recherchiert, in denen das Vertrauen während einer (automatisierten) Fahrt oder im Hinblick auf automatisiertes Fahren evaluiert wurde. Abbildung 2 zeigt die Methodik der Recherche hinsichtlich der verwendeten Datenbanken sowie der verwendeten Suchtermini.

Von den  $N = 35$  resultierenden und analysierten Publikationen erwiesen sich nur  $N = 5$  als hoch relevant. Grund dafür ist, dass in den meisten der im Rahmen der Recherche identifizierten Studien der Einfluss von Übernahmesituationen oder Fahrtrajektorien auf das Vertrauen des Nutzens während einer automatisierten Fahrt untersucht wird. Nur wenige Paper fokussieren sich auf die Beschreibung oder Untersuchung von Umgebungsfaktoren.

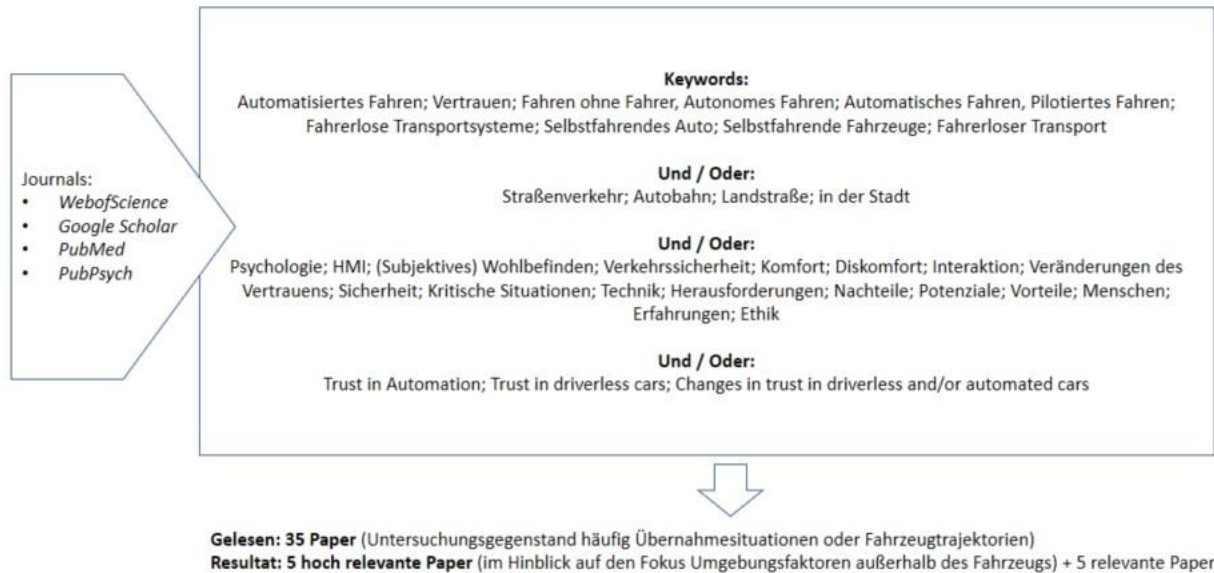


Abbildung 2: Darstellung des methodischen Vorgehens bei der Literaturrecherche zur Identifikation vertrauenskritischer Fahrsituationen aus der Nutzerperspektive.

Aufgrund dessen wurde zur Erweiterung der literaturbasierten Ergebnisse zusätzlich zu den in der GVB geplanten Arbeiten qualitative Interviews konzipiert und durchgeführt. Im Rahmen der Befragung wurden  $N = 12$  Personen zu vertrauenskritischen Erlebnissen in den folgenden Situationen befragt: Busfahrt, Taxifahrt, Fahrt als Beifahrer im privaten Kontext. Von den  $N = 12$  Befragten konnten  $N = 3$  Personen keine vertrauenskritischen Fahrsituationen benennen, weshalb die Interviews von insgesamt  $N = 9$  Probanden/innen ( $n = 4$  weiblich, Alter:  $M = 33$  Jahre, Range 21 – 71 Jahre) ausgewertet werden konnten. Insgesamt konnten vier vertrauenskritische Situationen aus dem Buskontext, eine aus dem Taxikontext und  $N = 17$  Situationen als dem Beifahrerkontext erhoben werden.

Basierend auf der Literaturrecherche sowie den Interviews konnten folgende potentiell vertrauenskritische Situationen identifiziert werden:

Tabelle 1: Mithilfe von Literatur und qualitativen Interviews identifizierte vertrauskritische Fahrsituationen aus Nutzerperspektive.

Literaturbasiert	Interviewbasiert
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schlechtes Wetter</li> <li>• Schlechte Lichtverhältnisse (bspw. nachts)</li> <li>• Zusammenführen von Fahrstreifen</li> <li>• Baustellen auf der Autobahn</li> <li>• Fahrstreifenverengungen</li> <li>• Komplexe Situationen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreuzungen</li> <li>• Kreisverkehre</li> <li>• Ein- und Ausfahrten</li> </ul> </li> <li>• Anwesenheit von größeren Verkehrsteilnehmern (bspw. LKW)</li> <li>• Anwesenheit von „vulnerable road users“ (bspw. Fahrradfahrer, Fußgänger, Motorradfahrer)</li> <li>• Tiere auf der Fahrbahn</li> <li>• Enge Kurven</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schlechtes Wetter: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Sicht durch bspw. starken Regen</li> <li>• Glatte Fahrbahn durch bspw. Schnee</li> </ul> </li> <li>• Hohe Geschwindigkeiten</li> <li>• „Knappe“ Fahrmanöver (bspw. Überholen, Einbiegen in Vorfahrtstraße)</li> <li>• Baustellen auf der Autobahn</li> <li>• Fahrstreifenverengungen</li> <li>• Stadtverkehr mit Fahrradfahrern und Fußgängern</li> </ul>

Zusätzlich zu der Nutzerperspektive wurde die Systemperspektive bei der Literaturrecherche zur Identifikation vertrauskritischer Situationen berücksichtigt. In Abbildung 3 ist das Vorgehen zur Ermittlung systemrelevanter Kriterien dargestellt. Dafür wurde zunächst eine Übersicht aktueller serienreifer Fahrerassistenzsysteme (FAS) erstellt.

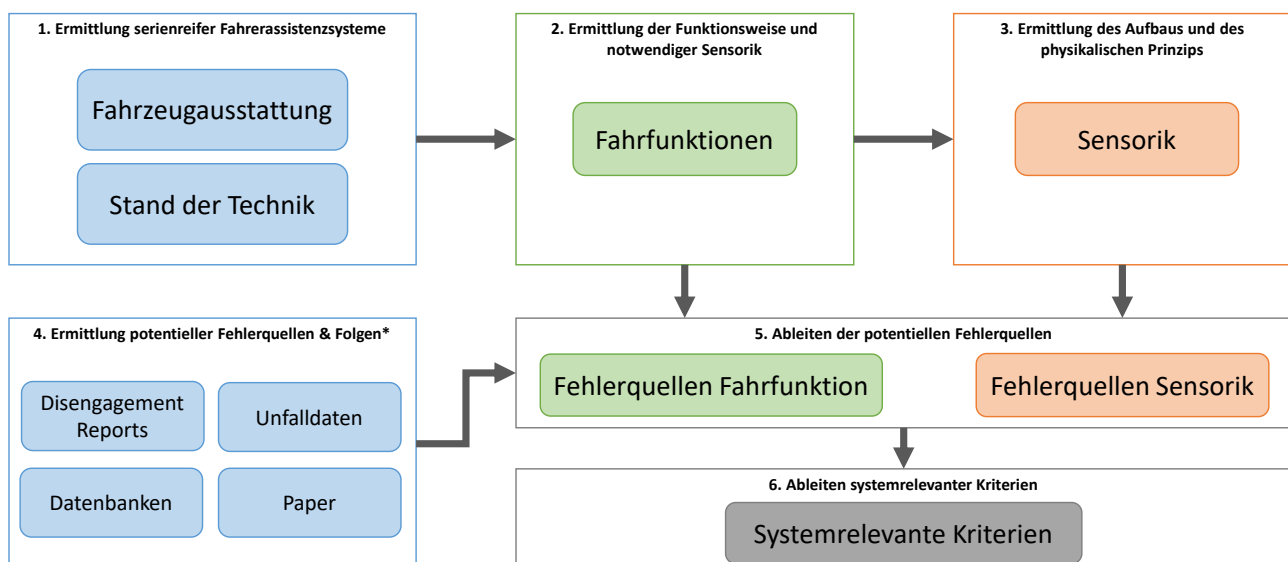


Abbildung 3: Darstellung des methodischen Vorgehens bei der Recherche zur Identifikation vertrauskritischer Fahrsituationen aus der Systemperspektive

Einen wesentlichen Überblick liefern dafür die FAS aus aktuellen Serienfahrzeuge des Premiumsegments. Zusätzlich berichten wissenschaftliche Artikel über die Funktionsweise und Erfahrungen mit solchen Systemen. Auf dieser Basis konnte eine Liste mit FAS und deren Funktionsweisen erarbeitet werden.

Eine Analyse der Systeme hat gezeigt, dass neben der Funktionsweise, die die Perzeption, die Planung, das Verhalten und die Regelung umfasst, vor allem die Sensorik des Fahrzeugs ein wesentlicher Bestandteil ist. Die im Fahrzeug verbauten Sensoren liefern Informationen zum Fahrzeugumfeld und dessen Lokalisierung, die mit einer definierten Genauigkeit für eine einwandfreie Funktionsweise des FAS zwingend erforderlich sind. Deshalb wurden im weiteren Verlauf systemrelevante Kriterien für die Fahrfunktionen und die entsprechende Sensorik individuell betrachtet. Als systemrelevant werden hier Kriterien definiert, die das FAS herausfordern bzw. ein mögliches Fehlverhalten provozieren und so als potenzielle Fehlerquelle betrachtet werden können.

Datenbanken (aus Projekten wie PEGASUS, VVMethoden, ...) und Unfallanalysen liefern Informationen über ausschlaggebende Kriterien verschiedener Szenarien, die potenzielle Fehlerquellen darstellen. So können beispielsweise beschädigte/beschmutzte Fahrbahnmarkierungen dazu führen, dass diese nicht richtig detektiert werden und einer Fahrfunktion notwendige Informationen fehlen.

Zusätzlich wird in verschiedenen Forschungsberichten die Leistungsfähigkeit von Sensoren unter bestimmten Rahmenbedingungen untersucht, sodass sich daraus Schwachstellen der Sensorik ableiten lassen.

Disengagement Reports liefern abhängig vom Detaillierungsgrad der Daten potenzielle Informationen über die Häufigkeit und den Grund für eine Überbeanspruchung des FAS. Da die Analyse dieser Daten allerdings sehr aufwendig und die Verfügbarkeit aussagekräftiger Daten einer gesamten Flotte nicht sichergestellt ist, wird in diesem Bezug nur auf eine oberflächliche Analyse dieser Daten zurückgegriffen.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die potenziellen Fehlerquellen der Fahrfunktionen hauptsächlich durch Softwarefehler und die der Sensorik durch die physische Beschaffenheit der Sensoren hervorgerufen werden.

Basierend auf der Recherche von potenziellen Problemen auf Seite der Fahrfunktionen und Sensorik, konnten folgende weitere potenziell vertrauenskritische Situationen identifiziert werden:

Tabelle 2: Mithilfe von Literatur identifizierte vertrauskritische Fahrsituationen aus Systemperspektive.

Fahrfunktion	Sensorik
<ul style="list-style-type: none"> <li>Objekterkennung funktioniert nicht richtig (z.B. Fußgänger nicht erkannt)</li> <li>Fehlerhafte Fahrspurerkennung (z.B. unterschiedlich gefärbte Markierungen, Betonabspernung nicht erkannt)</li> <li>Prädiktion der Trajektorie von Verkehrsteilnehmern nicht korrekt</li> <li>Überforderung des Systems bei hoher Verkehrsdichte</li> <li>Probleme bei der Erkennung von unbekanntem Verkehrsteilnehmern (z.B. Landmaschinen)</li> <li>Probleme bei hohen Relativgeschwindigkeiten der Verkehrsteilnehmer zueinander</li> <li>Fehlende Adaption von äußeren Einflüssen (z.B. Witterungsbedingungen werden bei ACC evtl. nicht berücksichtigt)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schlechte Sicht (Regen, Schnee, Nebel usw.)</li> <li>Helles Licht (direktes Sonnenlicht, Scheinwerfer entgegenkommender Fahrzeuge)</li> <li>Schäden oder Verdeckung durch Schlamm, Eis, Schnee usw.</li> <li>Störung oder Verdeckung durch am Fahrzeug montierte Objekte (z. B. Fahrradträger).</li> <li>Verdeckung durch übermäßige Lackierung oder aufgeklebte Produkte am Fahrzeug (z. B. Bänder, Aufkleber, Gummibeschichtung usw.)</li> <li>Enge oder kurvige Straßen</li> <li>Eine beschädigte oder verschobene Stoßstange</li> <li>Störungen durch andere Ultraschallgeräte</li> <li>Extreme Temperaturen</li> <li>Reichweite der Sensoren</li> </ul>

## Schritt 2: Literaturbasierte Erarbeitung eines Klassifikationsschemas für relevante, vertrauskritische Fahrsituationen

Im Rahmen des zweiten Arbeitsschritts des AP1.1 wurden zwei Klassen von Kategorien formuliert:

- Kriterien zur Beschreibung von Situationen mit erwarteter Relevanz auf das Vertrauen. Die Kriterien sollen helfen, Situationen auf einer eher mikroskopischen Ebene hinreichend bzgl. potenziell vertrauskritischer Merkmale zu beschreiben (somit Fokus: Situationsdetails).
- Kriterien zur Beschreibung der Vertrauskritikalität. Die Kriterien sollen helfen, die Vertrauskritikalität von Situationen auf einer eher makroskopischen Ebene zu beschreiben und Situationen entsprechend priorisieren zu können (somit Fokus: Gesamtsituation).

Bei (a), der Identifikation der Kriterien zur Beschreibung von Situationen mit erwarteter Relevanz auf das Vertrauen, wurden zunächst die Arbeiten von [FAS07] und [GEY13] gesichtet, in welchen bereits Kriterien zur Situationsbeschreibung Fahrkontexten formuliert sind. In interdisziplinären Arbeitstreffen mit projektbeteiligten Angestellten des ika wurden die Kriterien dieser beiden Arbeiten verglichen, hinsichtlich Redundanzen untersucht und deren Eignung zur Beschreibung vertrauskritischer Situationen des automatisierten Fahrens (SAE Level 4/5) geprüft. Kriterien, die

für den Anwendungskontext und/oder nach Expertenurteil weniger relevant erschienen, wurden eliminiert und die Liste um noch fehlende Kriterien, welche im Rahmen der Treffen erarbeitet wurden, zur erschöpfenden Beschreibung ergänzt. Das Ergebnis ist die folgende Liste mit Kriterien anhand derer Merkmale einer vertrauenskritischen Fahrsituation beschrieben werden können:

- Straßentyp (z.B. Autobahn, Land, Stadt)
- (Relativ-)Geschwindigkeiten
- Fahrstreifen (z.B. Anzahl, Markierung, Begrenzung, Verengung)
- Straßenverlauf (z.B. kurvig, Zusammenführen mehrerer Streifen)
- Verkehrsregeln (z.B. Kreuzungen, Vorfahrtstraßen, Kreisverkehre, Reißverschlussystem)
- Hindernisse (z.B. Baustelle, Verkehrsunfall)
- Wetter (z.B. Regen, Schnee, Nebel, extreme Temperaturen)
- Tageszeit (z.B. Tag, Nacht)
- Blendungen und Reflektionen (z.B. tiefstehende Sonne, entgegenkommende Scheinwerfer, durch andere Ultraschallgeräte)
- Verdeckung der Situation (z.B. parkende Fahrzeuge)
- Beschädigung, Verschmutzung, Verdeckung der Sensorik
- Beschädigung und/oder Verschmutzung der Fahrbahn (z.B. Schlaglöcher)
- Verkehrsaufkommen/dichte
- Fahrverhalten anderer Verkehrsteilnehmenden (z.B. Abstand)
- Zusammensetzung der Verkehrsteilnehmenden (z.B. VRU, schwere Fahrzeuge, unbekannte Landmaschinen)
- Weitere Besonderheiten (z.B. Tiere auf der Straße, Plastiktüte)
- Fahrzeugmängel (z.B. beschädigte oder verschobene Stoßstange)

Bei (b), der Herleitung der Kriterien zur Beschreibung der Vertrauenskritikalität, wurden ebenfalls bestehende Arbeiten gesichtet und die dort beschriebenen Kriterien auf Eignung für den Anwendungskontext „Vertrauen während des automatisierten Fahrens“ in internen Arbeitstreffen überprüft. Mithilfe dieser Kriterien werden nicht mehr länger einzelne Situationscharakteristika bewertet, sondern die Vertrauenskritikalität als Ganzes. Als wesentliche Grundlage dienten folgende Arbeiten: [KNA09], die Arbeiten [MUI96] zu Vertrauen sowie die Arbeiten [BEG20] zu Komfort beim automatisierten Fahren. Basierend auf diesen Arbeiten wurden die folgenden Kriterien zur Beschreibung der Vertrauenskritikalität ausgewählt:

Tabelle 3: Identifizierte Kriterien zur Beschreibung der Vertrauenskritikalität sowie der prognostizierte Zusammenhang mit Vertrauen im Kontext des automatisierten Fahrens.

<b>Kriterien zur Beschreibung der Vertrauenskritikalität</b>	<b>Prognostizierter Zusammenhang mit Vertrauen</b>	<b>Operationalisierungsvorschlag</b>
<b>Häufigkeit</b> der Situation	Positiver Zusammenhang: je häufiger eine Situation erlebt wurde, desto positiver ist der Einfluss auf das Vertrauen	Wie häufig tritt eine solche Situation auf? selten – eher selten – eher häufig – häufig
<b>Komplexität</b> der Situation	Negativer Zusammenhang: je komplexer eine Situation, desto negativer ist der Einfluss auf das Vertrauen	Wie bewerten Sie die Komplexität der Situation? Gering – eher gering – eher hoch – hoch
<b>Vorhersehbarkeit/Erwartung</b> (entspricht einer erwarteten oder geschätzten Fehlerhäufigkeit) <b>von Systemfehlern</b> (Systemfehler = objektiv und/oder subjektiv wahrgenommen nicht angemessene Reaktion des Systems, die das Risiko für das Auftreten einer hoch risikoreichen Situation/eines Unfalls erhöht)	Negativer Zusammenhang: je wahrscheinlicher ein Systemfehler (nach subjektivem Empfinden) in einer Situation ist, desto negativer ist der Einfluss auf das Vertrauen	Wie wahrscheinlich ist es (nach Ihrem Empfinden), dass in dieser Situation ein Systemfehler auftritt? Nicht wahrscheinlich – eher nicht wahrscheinlich – eher wahrscheinlich – sehr wahrscheinlich
<b>Fehlerschwere/Schwere</b> eines Unfalls in der Situation	Negativer Zusammenhang: Je schwerwiegender ein Fehler in einer Situation ist, desto negativer ist der Einfluss auf das Vertrauen	Wie schwerwiegend wären die Folgen eines Fehlers in dieser Situation? Gering – eher gering – eher hoch - hoch

Bei der hier beschriebenen Kriterienauswahl handelt es sich zunächst um einen theoretisch basierten Vorschlag. Diesen gilt es im weiteren Projektverlauf (bspw. im Rahmen der Realfahrtstudie AP3.2) hinsichtlich der Zusammenhänge und prognostischen Güte der Kriterien zu überprüfen und ggf. zu adaptieren.

### Schritt 3: Ableitung und Bewertung konkreter Anwendungssituationen

Als finaler Arbeitsschritt des AP1.1 wurde die Einordnung der identifizierten Situationen in das Klassifizierungsschema beschrieben. Um die Situationen anhand der Kriterien bewerten zu können, mussten den bisher generischen Situationen zunächst konkrete Anwendungsbeispiele zugeordnet werden.

Die Anwendungsbeispiele wurden unter Berücksichtigung zweier Gesichtspunkte gewählt. Zum einen wurden die Anwendungsbeispiele im Hinblick auf die Realfahrtstudie des AP3.2 ausgewählt, da die zu fahrende Route hypothesengeleitet erstellt werden soll. Zum anderen wurden folgende Prämissen berücksichtigt: Die Situationen müssen im Geltungsbereich von SAE Level 4/5 Fahrzeugen liegen, Relevanz gemäß der Literatur aufweisen, in der Realfahrtstudie umsetzbar und replizierbar sein sowie ethische Unbedenklichkeit vorweisen. Unter diesen Voraussetzungen wurden konkrete Situationsbeispiele aus dem Raum Aachen identifiziert und anhand der Kriterien zur Beschreibung potenziell vertrauskritischer Fahrsituationen (Schritt 2a) beschrieben. Anschließend wurden zwei Experteninterviews mit dem Ziel der initialen Überprüfung der Eignung und Bewertbarkeit der Kriterien durchgeführt. Teilnehmende der Interviews waren projektexterne Institutsmitarbeitende aus dem Bereich Verkehrspsychologie & Akzeptanz. Im Rahmen der Interviews wurden die Situationen mithilfe der Kriterien zur Beschreibung der Situationen (Schritt 2a) vorgestellt und durch die Befragten gemäß den Kriterien zur Beschreibung der Vertrauskritikalität (Schritt 2b) bewertet. Die Experteninterviews zeigten zum einen, dass die Kriterien zur Beschreibung der Situation (Schritt 2a) ausreichend zu sein scheinen, um die Situation rein textbasiert, ohne direktes Erleben der Situation, verständlich zu beschreiben. Zum anderen deuten die zwei Experteninterviews daraufhin, dass die Kriterien zur Vertrauskritikalität (Schritt 2b) grundsätzlich bewertbar und damit im weiteren Projektverlauf anwendbar zu sein scheinen. Zudem bestärken die zwei Experteninterviews die potenzielle Relevanz der Faktoren Komplexität und Fehlerschwere mit Blick auf die Vertrauskritikalität einer Situation. Eine ausführliche Evaluation der Kriterien und ihrer Relevanz kann jedoch erst durch die im Projektverlauf geplanten quantitativen Studien vorgenommen werden.

Insgesamt konnte mit dem AP1.1 eine Auflistung vertrauskritischer Fahrsituationen des automatisierten Fahrens in interdisziplinärer Zusammenarbeit erstellt werden. Eine solche Auflistung existierte zum Zeitpunkt der Antragsstellung nach bestem Wissen der Antragsstellenden nicht und bietet damit einen Mehrwert zum wissenschaftlichen Status quo. Innerhalb des Projekts können die Ergebnisse des AP1.1 insbesondere im Rahmen der Realfahrtstudie des AP3.2, der Nutzereinbindungen in AP7.2 und der Simulatorstudie des AP10.4 genutzt werden. Zum einen können potenziell vertrauskritische Fahrsituationen basierend auf der hier beschriebenen Arbeit ausgewählt werden, zum anderen können die Kriterien zur Bewertung der Vertrauskritikalität in Befragungsinstrumente (z.B. für die Realfahrtstudie in AP 3.2) einfließen.

Im Rahmen des AP1.2 wurden durch das ika drei wesentliche Arbeitsinhalte erarbeitet:

- (1) Literaturbasierte Erarbeitung eines theoretischen Rahmenwerks zur (Nutzer-)Akzeptanz im Kontext des automatisierten Fahrens, welches das Zusammenspiel mit weiteren relevanten Einflussgrößen wie bspw. Vertrauen/Misstrauen berücksichtigt.
- (2) Literaturbasierte Ableitung optischer, verbaler und physiologischer Maße, welche als Prädiktoren für Veränderungen des Nutzervertrauenszustandes genutzt werden können.
- (3) Initiale Definition der Dimensionen Vertrauen und Misstrauen im automatisierten Fahrkontext, um ein gemeinsames Grundverständnis und eine barrierefreie Kommunikation zwischen den interdisziplinären Ressorts der verschiedenen Projektpartner zu sichern.

Im Folgenden werden das methodische Vorgehen sowie die zentralen Ergebnisse des AP1.2 zusammenfassend geschildert

(1) Literaturbasierte Erarbeitung eines theoretischen Rahmenwerks zur (Nutzer-)Akzeptanz im Kontext des automatisierten Fahrens

In der Literatur existieren einige Modelle zum Thema (Technologie-) Akzeptanz, die im Laufe der Jahre weiterentwickelt und für verschiedenste Kontexte angepasst wurden. Bekannte Beispiele sind das Technology Acceptance Modell (TAM; [DAV89]) oder auch die Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT; [VEN03]). Obwohl Automation bereits seit einigen Dekaden eine Rolle in mannigfaltigen technisierten Bereichen spielt, lassen die meisten wissenschaftlich anerkannten Technik Akzeptanz Modelle die folgerichtige Erweiterung um den Einflussfaktor Trust in Automation (TiA) vermissen. Dies ist insofern bemerkenswert, als dass der Einfluss von Vertrauen bzw. TiA auf die Technologieakzeptanz wiederholt nachgewiesen wurde (siehe z.B. [CHO15]; [KAU18]; [LEE04]).

Mit dem in diesem Arbeitspaket zu erarbeitenden, literaturbasierten, theoretischen Rahmenwerk soll eine erste Annäherung zur Schließung dieser Lücke erreicht werden. Bei der Literaturrecherche zur Erarbeitung des Rahmenwerks wurden deshalb folgende Prämissen (a und b) aufgestellt: Es werden theoretische und/oder empirische Akzeptanzmodelle gesucht und verglichen, die (a) für den Anwendungskontext Fahren und/oder Automatisierung und/oder automatisiertes Fahren entwickelt wurden und (b) Vertrauen als Faktor in ihrem Modell aufführen.

Zusätzlich zum Zusammenspiel zwischen Technologieakzeptanz und TiA wurden auch Einflussfaktoren auf TiA literaturbasiert abgeleitet und in das Rahmenwerk aufgenommen, um ein ganzheitlicheres Bild von Technologieakzeptanz und Vertrauen im automatisierten Fahrkontext zu zeichnen und eine Erweiterungsoption zu bestehenden Modellen aufzuzeigen.

Basierend auf diesen Recherchen wurde das in Abbildung 4 dargestellte Rahmenwerk abgeleitet. Neben dem Versuch ein ganzheitliches Rahmenwerk zum Zusammenhang von Akzeptanz und TiA zu zeichnen, das bestehende Annahmen verbindet, dient das hier entworfene Rahmenwerk innerhalb des Forschungsprojekts zudem als Grundlage für ein projektinternes, interdisziplinäres gemeinsames Verständnis der relevanten Konstrukte (TiA, Akzeptanz). Dabei kann das in diesem Arbeitspaket literaturbasiert erarbeitete Rahmenmodell inkl. seiner Zusammenhänge im Laufe des Projekts angepasst werden, sofern sich relevante Erkenntnisse bspw. aus den Studien in AP3.2 oder AP10.4 ergeben.

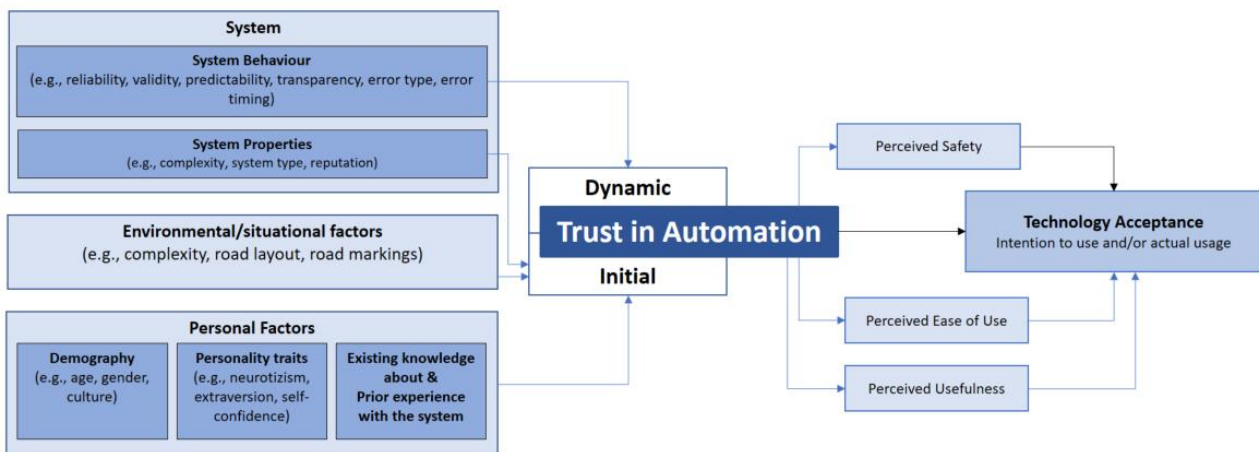


Abbildung 4: Theoretisches Rahmenwerk zum Zusammenspiel zwischen Trust in Automation und Akzeptanz im Kontext des automatisierten Fahrens [DAU22].

### Literaturbasierte Ableitung optischer, verbaler und physiologischer Maße

Zur Identifikation optischer, verbaler und physiologischer Maße, welche als Prädiktoren für Veränderungen des Zustands des Nutzervertrauens genutzt werden können, wurde eine separate Literaturrecherche durchgeführt. Berücksichtigt wurden dabei empirische (Nutzer-) Studien, die den Zusammenhang mit einem oder mehreren dieser Maße mit Vertrauen untersucht und finden konnten. Tabelle 4 zeigt eine Zusammenfassung der gefundenen, potentiell relevanten Zusammenhangsmaße.

Tabelle 4: Identifizierte optische, verbale und physiologische Maße, welche im Zusammenhang mit Vertrauen gefunden werden konnten.

Physiologisch	Behavioral	Kognitiv/Psychologisch
<u>Herzfrequenz</u> Erhöhte Herzfrequenz lässt auf Stress oder Unwohlsein (geringes Vertrauen) deuten ([HU16]; [KHA16]; [KUN18]; [LEI11])	<u>Blickbewegung</u> Je höher das Vertrauen, desto geringer die Frequenz von Kontrollblicke auf die Straße und desto mehr Aufmerksamkeit bei der Nebenaufgabe ([GOL15]; [HER16]; [WAL18]; [WAL19b]; [KHA16]; [KUN18]; [LEI11])	Subjektive Evaluation des Vertrauens  <u>Explizite Verfahren:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trust in Automation Scale ([JIA00]; [POE16])</li> <li>Fragebogen zu TiA ([KOE18a])</li> <li>M-HAT ([KUN06])</li> <li>Trust perception scale ([SCH14])</li> </ul>
<u>Hautleitfähigkeit</u> Höhere Hautleitfähigkeit lässt auf Aufregung, Stress, geringes Vertrauen/Misstrauen deuten	<u>Sprache</u>	

Konstante/geringe Hautleitfähigkeit korreliert mit Vertrauen ([BRA19]; [HU16]; [KHA15]; [WAL19a])	Tonhöhe steht in positivem Zusammenhang mit negativem Affekt, Stress oder Erregung (zeitliche Variation, Tonhöhe fällt im Verlauf des Gesprächs ab)  Längere Antworten können auf Misstrauen hindeuten (muss sich mehr und elaborierter erklären)  ([ELK13]; [BAC95]; [JUS05]; [STR77])	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TOAST ([WOJ20])</li> </ul> <p><u>Implizite Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schieberegler/Continuous slider ([WAL19b])</li> <li>• Handregler/handset control ([HAR15])</li> </ul>
<p><u>EEG</u></p> Mittlere Frequenz bei C3 korreliert mit Vertrauen ([HU16]; [RIG09])		

## (2) Initiale Definition der Dimensionen Vertrauen und Misstrauen im automatisierten Fahrkontext

Zur Formulierung einer initialen Definition der Dimensionen Vertrauen und Misstrauen zum gemeinsamen Verständnis bzgl. dieser Konstrukte innerhalb des interdisziplinären Projektteams, wurden bestehende Definitionen aus den Kontexten der Mensch-Mensch Beziehung (siehe bspw. [DEU62]; [LUH00]; [LEE04]) aber auch Definitionen zu Trust in Automation ([LEE04]; [HOF15]; [KOE18b]) recherchiert, zusammengetragen und bezüglich ihrer Gemeinsamkeiten analysiert. Basierend auf dieser Recherche verstehen wir in Anlehnung an die Definitionen von [LEE04] und [KOE18b] Vertrauen im automatisierten Fahrkontext als subjektive Einstellung der Nutzenden, dass ein automatisiertes System in Situationen, die durch Unsicherheit und/oder Verletzlichkeit der Nutzenden gekennzeichnet sind, in einer wünschenswerten Weise handeln wird. In Anlehnung an [ROP10] formulieren wir Misstrauen im automatisierten Fahrkontext als subjektive Erwartung der Nutzenden, dass sie in Situationen, die durch Unsicherheit und/oder Verletzlichkeit der Nutzenden gekennzeichnet sind, durch ein automatisierte System Gefährdungen oder Störungen erleiden werden. Insgesamt zeigte sich im Rahmen der Literaturrecherche zur initialen Definition der Dimensionen Vertrauen und Misstrauen, dass Misstrauen vergleichsweise weniger häufig untersucht wurde als Vertrauen und der Zusammenhang dieser beiden Dimensionen noch nicht final ergründet ist [KOM08].

## 2.2 AP3: Realfahrtstudie und Parametrisierung des Modells

Gegenstand von AP3.1 ist die Entwicklung und der Aufbau des für die innerhalb des dritten Arbeitspaketes geplante Realfahrtstudie benötigten Untersuchungswerkzeugs. Die Realfahrtstudie verfolgt dabei zwei Ziele. Zum einen werden die in AP1.1 identifizierten vertrauensrelevanten Fahrsituationen überprüft und ergänzt. Auf der anderen Seite werden für das in AP2.6 aufgebaute Nutzerzustandserkennungssystem Daten gesammelt, auf deren Basis die entwickelten Algorithmen weiter trainiert werden können. Für beide Ziele stellt der Vertrauenszustand des Nutzers in Abhängigkeit der aktuellen Fahrsituation den zentralen Untersuchungsgegenstand dar. Aus diesem Grund ist im Speziellen die größtmögliche Immersion der Probanden von hoher Bedeutung, um

aussagekräftige und belastbare Daten erheben zu können. Das Fahrscenario sieht in Anlehnung an die Projektziele eine hochautomatisierte Fahrt ohne systemintendierte Übernahmemanöver vor.

Als Untersuchungswerkzeug wurde ein Versuchsfahrzeug aufgebaut, das dem Ansatz des Wizard-of-Oz(WoOz)-Experimentes folgt [KEL83]. Ziel des experimentellen Ansatzes ist es, automatisierte Funktionen eines Systems bestmöglich, aber effizient abzubilden. Diese automatisierten Funktionen werden deshalb nicht technisch umgesetzt, sondern durch einen Menschen, den sogenannten Wizard, realitätsnah nachgebildet, ohne dass die Versuchsperson Kenntnis über die Anwesenheit beziehungsweise die Handlungen des Wizards hat [FRA91]. Dieser experimentelle Ansatz hat den Vorteil, dass er nicht auf die technische Umsetzung des automatisierten Systems angewiesen ist [MUE19]. Automatisierte Fahrfunktionen der SAE-Level 4 und 5, wie sie innerhalb des Projekts EMMI untersucht werden, sind Gegenstand der Forschung und somit nur sehr eingeschränkt für Studien verfügbar. Da die Einführung hochautomatisierter Fahrzeuge zu einer grundlegenden Veränderung in der Interaktion zwischen Fahrendem, Fahrzeug und Umwelt führt, sind jedoch frühzeitige Untersuchungen zur Interaktion, der Akzeptanz und dem Vertrauen in die automatisierte Fahrfunktion von großer Bedeutung [BEN19]. Innerhalb des Verbundprojekts soll den Studienteilnehmenden ein realistisches Erleben einer automatisierten Fahrt mit SAE-Level 4 beziehungsweise 5 vermittelt werden, ohne wirklich eine automatisierte Fahrfunktion technisch umzusetzen.

In einem ersten Schritt der Zielerreichung wurden aktuell für den Bereich der Forschung und Entwicklung genutzte WoOz Konzepte recherchiert und in verschiedenen Kategorien geclustert. In einem zweiten Schritt wurden die unterschiedlichen Konzeptansätze anhand der Untersuchungsgegenstände und Untersuchungsmöglichkeiten miteinander verglichen. Anhand der konzeptspezifischen Vor- und Nachteile konnten zwei der drei unterschiedlichen Konzeptansätze für eine Nutzung in EMMI genutzt werden. Lediglich die WoOz Konzepte, welche auf Umbauten bzw. Adaptionen der Sitze bzw. Sitzverschalungen beruhen, sind aufgrund des nicht zutreffenden Untersuchungsgegenstandes zu exkludieren. Konzeptseitig sind diese WoOz nur auf Fahrzeug-Passanten Interaktionen oder für Taxi-Szenarien einer Fahrzeug-Insassen-Interaktion anwendbar. Die Gemeinsamkeit der verbleibenden potenziellen Konzeptansätze ist durch die Realisierung von zwei Fahrerarbeitsplätzen gegeben.

Bezüglich der verschiedenen Realisierungsoptionen für ein WoOz-Konzept mit zwei Fahrerarbeitsplätzen wurde ein ausführlicher Vergleich durchgeführt. Maßgeblich waren dabei die unterschiedlichen Faktoren Realisierbarkeit, Kosteneffizienz, Immersion während der Studiendurchführung sowie Zulassungsfähigkeit für den Realverkehr. Bzgl. des letzten Punktes der Zulassungsfähigkeit ist besonders hervorzuheben, dass im Kontext des vorliegenden Projektvorhabens eine uneingeschränkte Zulassung für die Autobahn, aber auch für den urbanen Raum sowie für die Landstraße zwingend erforderlich war. Eine Beschränkung beispielsweise auf die Autobahn, wie man sie von vergleichbaren WoOz-Versuchsaufbauten anderer Forschungsinstitutionen kennt, hätte die geplante Studie maßgeblich beschnitten und die Aussagekraft der Ergebnisse stark eingeschränkt. In enger Absprache mit den Kfz-Experten des Instituts, den zulassenden Behörden sowie dem Projektträger wurde zur Realisierung eines WoOz-Versuchsfahrzeugkonzeptes mit zwei Fahrerarbeitsplätzen ein Steer-by-Wire Konzept ausgewählt. Die Vorteile dieser Konzeptauswahl ergeben sich besonders in den Punkten der Zulassungsfähigkeit sowie der Immersion auf die Studienteilnehmer. Im Folgenden wird das entwickelte Konzept und der geplante Umbau des Versuchsfahrzeugs ausführlich beschrieben.

Das Fahrzeugkonzept baut auf einem konventionellen Fahrzeug mit Automatikgetriebe auf. Der Fahrerarbeitsplatz des konventionellen Fahrzeugs befindet sich in Fahrtrichtung links und wird im Folgenden als Versuchsperson-Arbeitsplatz bezeichnet. Dieses konventionelle Fahrzeug wird um ein Steer-by-Wire System ergänzt, sodass Lenkbefehle (Fahrzeugquerführung) neben dem konventionellen Lenkrad auch über ein weiteres, separates Stellteil übergeben werden können. Als separates Stellteil ist ein 2-Wege Joystick (links-rechts) vorzusehen. Die Steuerung des Steer-by-Wire Systems ist auf dem Beifahrersitz (in Fahrtrichtung rechts) zu platzieren. Dieser Steer-by-Wire Arbeitsplatz wird im Folgenden als Wizard-Arbeitsplatz bezeichnet. Aus Gründen der Zulassungsfähigkeit und Verkehrssicherheit wird von einer Positionierung des Wizards in der zweiten Fahrzeugreihe abgesehen.

Die primäre Fahrzeugführung muss sich umfassend vom Wizard-Arbeitsplatz aus abbilden lassen. Das umfasst die Längs- wie Querführung, die Bedienung von sekundären Bedienelementen (Fahrtrichtungsanzeiger etc.) sowie die Bedienung des Gangwahlhebels (Automatik). Um die Längsführung vom Wizard-Arbeitsplatz aus ausüben zu können, wird in Ergänzung zu dem Steer-by-Wire System eine Fahrschulbedieneinheit vorgesehen. Um dabei verkehrssicherheitsgefährdende Eingriffe durch die Versuchsperson auszuschließen, wird eine herausnehmbare Pedalsperre auf Seiten des Versuchsperson-Arbeitsplatzes vorgesehen. Die räumliche Aufteilung kann der Konzeptskizze in Abbildung 5 entnommen werden.

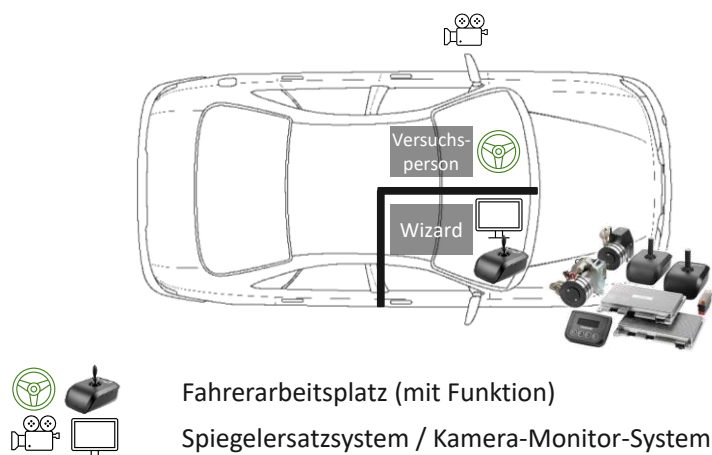


Abbildung 5: Schematische Darstellung des WoOz-Gesamtfahrzeugkonzeptes

Um das Wirken und die Anwesenheit des Wizards vor der Versuchsperson zu kaschieren, ist der Wizard-Arbeitsplatz räumlich abzutrennen. Zur räumlichen Abtrennung des Wizard-Arbeitsplatzes wird ein Sichtschutz zwischen Versuchsperson-Arbeitsplatz und dem Wizard-Arbeitsplatz vorgesehen. Der Sichtschutz ist dabei aus legislativen Anforderungen nicht bis zur Windschutzscheibe durchgängig, sondern realisiert eine spezifische Kontur, wie Abbildung 6 entnommen werden kann. Die Kontur ist in Kooperation mit dem TÜV Rheinland als begutachtender Instanz und der Bezirksregierung Köln als zulassender Instanz erarbeitet worden. Aufgrund der Kontur ist die Anwesenheit des Wizards vom Versuchsperson-Arbeitsplatz aus wahrnehmbar. Aus diesem Grund wird den Versuchspersonen vor Studienteilnahme eine Deckgeschichte erzählt. Somit handelt es sich bei dem Wizard um einen Sicherheitsfahrer, welcher im Falle eines technischen Defekts einen Nothalt des Versuchsfahrzeugs veranlassen kann. Der Sichtschutz diene dem Zweck,

einen potenziellen Einfluss des Sicherheitsfahrers und dessen Mimik und Gestik auf das Vertrauensniveau der Studienteilnehmer vorwegzunehmen.

Durch die räumliche bzw. visuelle Trennung ist dem Wizard der Blick auf einen der beiden gesetzlich vorgeschriebenen Außenspiegel verhindert (Außenspiegel in Fahrtrichtung links). Um die Zulassungsfähigkeit des Fahrzeugs für die Fahrzeugführung von dem Wizard-Arbeitsplatz aus wiederherzustellen, ist ein Spiegelersatz-System zu verbauen, welches das gesetzlich geforderte Sichtfeld durch den Außenspiegel ersetzt. Der Abbildung 6 ist die Realisierung des Versuchsfahrzeuges zu entnehmen.



Abbildung 6: Wizard-of-Oz Fahrzeug (Wizard-Arbeitsplatz in Fahrtrichtung Rechts)

Im Anschluss an den Aufbau des Versuchsfahrzeug erfolgte die Begutachtung der TÜV Rheinland GmbH, welche unter Einhaltung gewissen Auflagen die Erteilung einer Ausnahmegenehmigung durch die Bezirksregierung Köln empfahl. Die Auflagen umfassten dabei wetterbedingte Einschränkungen in der Fahrzeugnutzung (Dunkelheit, Schnee, Starker Regen etc.) sowie eine Zertifizierung der Versuchsfahrer durch eine Zertifizierungsinstanz, im vorliegenden Fall durch den TÜV Rheinland. Mithilfe des Gutachtens konnte ein Genehmigungsprozess über die Bezirksregierung Köln angestoßen und schließlich eine Ausnahmegenehmigung erhalten werden.

Ein weiterer Arbeitsschritt des APs umfasste zur Steigerung der illusorischen Wirkung auf die Versuchspersonen eine Anpassung der äußeren Gestaltung des Versuchsfahrzeugs. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Versuchsträger automatisierter Fahrzeuge auf ihre Ausrepräsentanz hin analysiert, und ein eigenes Design für den Außenauftritt entworfen. Für die Außendarstellung des WoOz-Versuchsfahrzeugs wurde zum einen eine eigene Folierung entwickelt, welche sich an die



Abbildung 7: Außenauftritt zur Erhöhung der Immersion des Versuchsfahrzeugs

Gestaltung anderer Versuchsträger anlehnt. Zusätzlich wurden auf dem Fahrzeugdach Sensorik-Attrappen angebracht, welche in Bauform- und Farbgebung echten Lidar-Sensoren entsprechen. Die Umsetzung der Anpassung der äußeren Wirkung des Versuchsfahrzeugs kann Abbildung 7 entnommen werden.

Als letzten abschließenden Arbeitspunkt der Versuchsfahrzeugbereitstellung für die Realfahrstudie verblieb somit die Zertifizierung der Versuchsfahrer. Zu diesem Zweck ist in Kooperation mit einer lokalen Fahrschule ein Schulungskonzept entwickelt worden, welches speziell auf den Spezifika des Versuchsfahrzeugs aufsetzt. Hintergrund der Notwendigkeit der Zertifizierung ist neben der Joystick-Steuerung vor allem die ungewohnte Nutzung des Spiegelerersatz-Systems für den linken Außenspiegel. Das Schulungskonzept konnte sich als sehr effizient erweisen, da hiermit 5 Versuchsfahrer im Erstversuch zertifiziert werden konnten.

Im Anschluss an die Fahrzeugbereitstellung konnte somit der für den Projektplan wesentliche Arbeitsschritt der Realfahrstudie (AP 3.2) erfolgen. Bereits parallel zur Fahrzeugkonzeption und dem Fahrzeugaufbau erfolgten die Tätigkeiten der Studienplanung.

### **Methode und Durchführung**

Ziel der Realfahrstudie (AP 3.2) ist die Überprüfung der in AP 1 literaturbasiert abgeleiteten vertrauenskritischen Fahrsituationen für den Anwendungsfall Automatisiertes Fahren sowie die Sammlung von Daten für das in AP 2.6 aufgebaute Nutzerzustandserkennungssystem. Zudem bietet die Realfahrstudie eine erste Möglichkeit, Teile des in AP1 erstellten Rahmenwerks zu überprüfen.

#### *Vorbereitende Tätigkeiten*

Zur Vorbereitung der Erhebung der technischen Objektivparameter im Rahmen der Realfahrtstudie wurde verschiedenes Equipment im Fahrzeug verbaut. Hierzu gehörte eine Befestigungsmöglichkeit für eine GoPro zum Filmen der Sicht auf die Straße, verschiedene Mikrofone, ein Handdrucksensor, zwei Nahinfrarotkameras, eine Thermalkamera.

Des Weiteren erfolgte die Einreichung eines Ethikantrags bei der Ethikkommission der Deutschen Gesellschaft für Psychologie e.V. (DGPs). In dem Ethikantrag wurden das Studiendesign und -vorhaben beschrieben, sodass diese von der Kommission auf seine ethische Unbedenklichkeit geprüft werden kann. Das Ergebnis der Ethikkommission war, dass die Realfahrtstudie als ethisch unbedenklich einzustufen ist.

### *Hypothesen*

In Vorbereitung der Studie wurden Forschungsfragen formuliert, welche im Rahmen der Studie überprüft wurden. Hierzu zählen:

- Hat Vertrauen einen direkten Einfluss auf die Nutzungsintention (H1a; GHA12a & GHA12b) und die wahrgenommene Sicherheit (H1b; MON20 & CHO15)?
- Hat Vertrauen über den Faktor „Wahrgenommene Sicherheit“ einen indirekten Einfluss auf die Nutzungsintention (MON20 & CHO15)?
- Haben State und Trait Anxiety haben einen Einfluss auf das Systemvertrauen vor der Fahrt (LAZ17)?
- Wirkt sich Trait Anxiety indirekt über den Mediator Initialvertrauen auf das Systemvertrauen nach der Fahrt aus (QU21)?
- Darüber hinaus wird erwartet, dass die in AP 1 aus der Literatur abgeleiteten vertrauskritischen Situationen ein signifikant höheres Misstrauen als die Skalenmitte aufweisen als Verkehrssituationen, welche nicht als vertrauskritisch benannt wurden.

Zudem wurde explorativ untersucht, ob die Neigung automatisierten Systemen zu vertrauen einen direkten Einfluss auf das Initialvertrauen hat.

### *Cover Story*

Zur Vorbereitung der Realfahrtstudie wurde eine Cover Story ausgearbeitet. In diesem Rahmen wurde den Studienteilnehmer\*innen vor der Versuchsfahrt erzählt, dass das Fahrzeug automatisiert fahre und zu keinem Zeitpunkt ein Eingreifen durch die Teilnehmer\*in erforderlich sei. Die Anwesenheit der Person auf dem rechten Vorderplatz in Fahrtrichtung wurde damit erklärt, dass dies ein\*e Sicherheitsfahrer\*in sei, dessen Anwesenheit erforderlich sei, da es sich um ein prototypisches Fahrsystem handele, welches im technischen Versagensfall durch den/die Sicherheitsfahrer\*in übernommen werden könne.

### *Versuchsdesign*

Im Rahmen der Realfahrtstudie wurden verschiedene abhängige Variablen erfasst. Hierzu gehören sowohl Objektivparameter, wie auch Subjektivparameter. Die Objektivparameter umfassen die Herzrate, Parameter der Sprechweise der Teilnehmer\*innen, Nahinfrarot- und Thermalbildaufnahmen von den Teilnehmer\*innen. Die Objektivparameter dienten dem Training des in AP 2.6 aufgebauten Nutzerzustandserkennungssystem.

Zudem wurden vor bzw. nach der Fahrt verschiedene Subjektivparameter erfasst. Hierzu zählen das Ver- und Misstrauen in das automatisierte System vor und nach der Fahrt (Trust in Automation Scale; JIA00), die Technikakzeptanz nach der Fahrt hinsichtlich der Subskalen Wahrgenommene Sicherheit, Wahrgenommene Nützlichkeit und Wahrgenommene Leichtigkeit der Nutzung (Autonomous Vehicle Acceptance Model; HEW19). Zusätzlich wurden Personenfaktoren erhoben, um zu prüfen, ob es einen personenbedingten Einfluss auf das Systemvertrauen im Kontext automatisiertes Fahren gibt. Hierzu zählt Trait Anxiety (LAU70), Technikbereitschaft (NEY12) und die Neigung automatisierten Systemen zu vertrauen. Zudem wurde die nicht-zeitstabile State-Anxiety (LAU70) erhoben.

Um Hinweise auf Veränderungen im subjektiv wahrgenommenen Ver- und Misstrauen während der Fahrt erfassen zu können, wurden an verschiedenen festgelegten Stellen entlang der Strecke Kurzabfragen durchgeführt. Hierzu erfolgten Angaben auf einer siebenstufigen Likert-Skala (1 sehr gering bis 7 sehr hoch).

Zur Überprüfung der aus der Literatur als vertrauenskritisch abgeleiteten Fahrsituationen beinhaltete die Nachbefragung ein Rating der Verkehrssituationen hinsichtlich ihrer empfundenen Kritikalität. Hier gaben die Teilnehmer\*innen auf einer siebenstufigen Likert-Skala an, wie sehr sie dem automatisiert fahrenden Fahrzeug in den jeweiligen Fahrsituationen misstraut haben (1 sehr wenig bis 7 sehr viel).

### *Routenführung*

Um eine möglichst realistische Versuchsumgebung zu schaffen, wurde die Studie im Straßenverkehr durchgeführt. Hierfür wurde eine Strecke ausgewählt, welche zum einen möglichst vielfältig ist und so den Proband\*innen Gelegenheit bietet, das automatisierte System in verschiedenen Fahrsituationen kennenzulernen. Hierzu umfasste die Strecke die Abschnitte Landstraßen, Stadtverkehr, sowie Autobahn. Zum anderen wurde bei der Auswahl der Strecke darauf geachtet, dass möglichst viele potenziell vertrauenskritische Fahrsituationen vorhanden sind. Hierzu zählen Kreuzungen, Autobahnbaustellen oder Autobahnauf- und -abfahrten. Die Gesamtstrecke hatte eine Länge von ca. 31.6km. Im Durchschnitt dauerte die Fahrt  $M = 58.78$  Minuten ( $SD = 10.47$ ). Start- und Zielpunkt war das Gelände des ika in der Steinbachstr. 7 in Aachen (siehe Abbildung 8).

### *Ablauf der Testung*

Insgesamt dauert eine Testung pro Teilnehmer\*in 125 Minuten. Zunächst wurden die Teilnehmenden empfangen und erhielten Unterlagen zu Probandeninformation, Verschwiegenheitserklärung, Datenschutzvereinbarung, Einwilligungserklärung für Bild- und Tonaufnahmen. In der Zwischenzeit führten die Teilnehmenden einen Corona-Schnelltest durch und erhielten eine Instruktion zum Versuchsablauf, wobei insbesondere der Ablauf und die Aufgabe erklärt wurden. Danach erfolgte das Anlegen des Brustgurts. Anschließend wurde das WoOz Fahrzeug und der/die Sicherheitsfahrer\*in entsprechend der Cover Story vorgestellt. Die Teilnehmenden nahmen im Fahrzeug Platz und stellten nach Bedarf den Sitz ein. Im Fahrzeug erfolgte eine fünfminütige Ruhemessung der Herzrate und die Vorbefragung zu Demografie, Mobilitätsverhalten, Erfassung der erwarteten Technikakzeptanz und dem erwarteten Vertrauen und Misstrauen in Form eines Interviews. Die Teilnehmenden erhielten eine kurze Instruktion zum Vorgehen während der Versuchsfahrt. Wenn keine weiteren Fragen bestanden, wurde die Fahrt

gestartet. Während der Fahrt erfolgte an 12 Positionen entlang der Strecke eine Kurzabfrage hinsichtlich des empfundenen Ver- und Misstrauens, wobei die Teilnehmenden darum gebeten wurden, laut zu denken und ihre Begründungen und Gedanken zu teilen. Nach der Versuchsfahrt erfolgte eine Nachbefragung, in der Technikakzeptanz, Vertrauen und Misstrauen erfasst wurden. Zudem wurden die Teilnehmenden im Rahmen eines Debriefings über die verwendete Cover Story aufgeklärt.

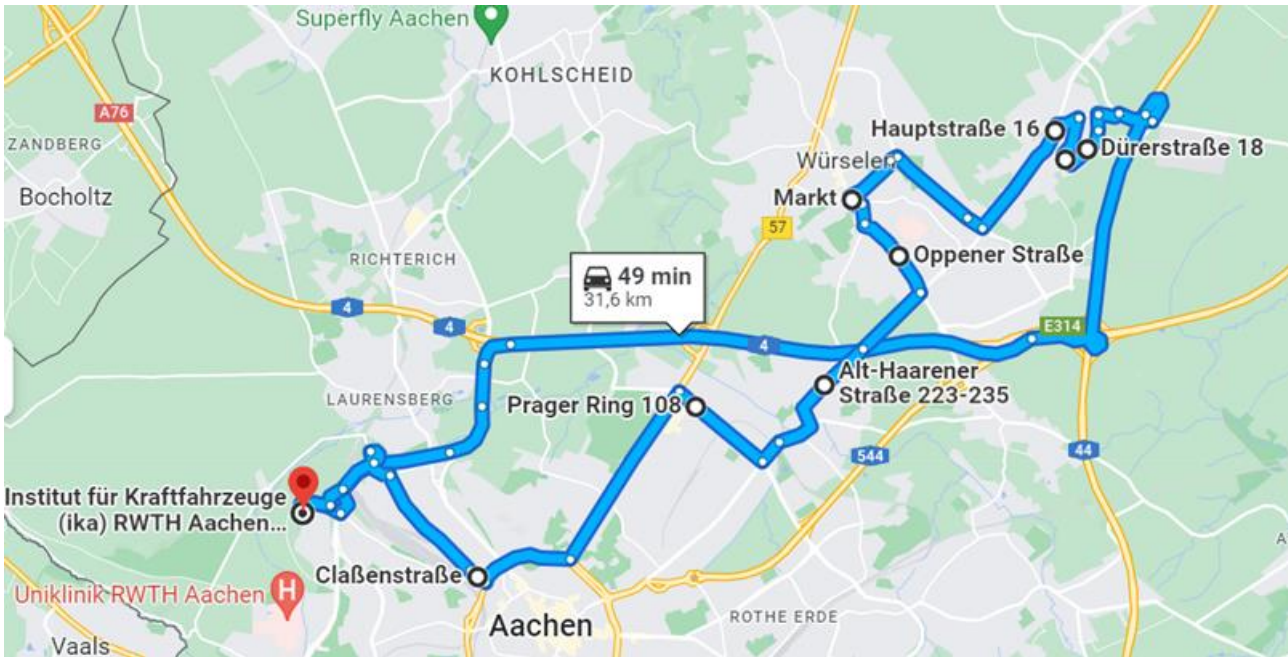


Abbildung 8: Routenführung der in der Realfahrtstudie gefahrenen Strecke.

### Stichprobenbeschreibung

Die Durchführung der Studie erfolgte von Mai bis Juli 2023. Insgesamt haben  $N = 62$  Proband\*innen teilgenommen. Die Testung musste bei  $n = 1$  Proband\*in aufgrund von Regen abgebrochen werden. Ein\*e Proband\*in musste wegen unkorrigierter Fehlsichtigkeit von der Auswertung ausgeschlossen wurde. Schließlich verblieben  $N = 60$  valide Datensätze für die Auswertung der Ergebnisse. Die Geschlechterverteilung war nahezu ausgeglichen ( $n = 27$  weiblich;  $n = 33$  männlich), das Alter reichte von 18 bis 67 Jahren ( $M = 38.25$ ,  $SD = 14.80$ ). Alle Teilnehmer\*innen verfügten über einen Führerschein der Klasse B. Die Mehrheit der Teilnehmer\*innen hatte keine theoretischen ( $n = 46$ ) oder praktischen ( $n = 41$ ) Vorkenntnisse im Bereich automatisierter Systeme.

### Ergebnisse

Die Ergebnisse der Realfahrtstudie zeigen zum einen, dass die Teilnehmer\*innen, gemessen an der verwendeten Skala, während der Fahrt ein hohes Maß an wahrgenommenen Vertrauen und ein niedriges Maß an Misstrauen berichteten: die Kurzabfragen während der Fahrt zeigen, dass die Mittelwerte für das Vertrauen deskriptiv über die Fahrt zunehmen, während die Mittelwerte für das Misstrauen im Fahrtverlauf sinken (Abbildung 9). Eine einfaktorielles MANOVA mit Messwiederholung zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den untersuchten Verkehrssituationen für die abhängigen Variablen Vertrauen und Misstrauen,  $F(22, 1208) = 13.98$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .20$ ,  $Wilks's \Lambda = .66$ . Post-hoc t-Tests zeigen signifikante Unterschiede zwischen dem Ver-

und Misstrauen der ersten Fahrsituationen im Vergleich zu den Fahrsituationen am Ende der Fahrt. Die Standardabweichungen sinken im Fahrtverlauf und zeigen, dass die Antworten der Teilnehmenden v.a. in den Situationen zu Beginn der Fahrt stärker variieren als in der Mitte und zum Ende der Fahrt.

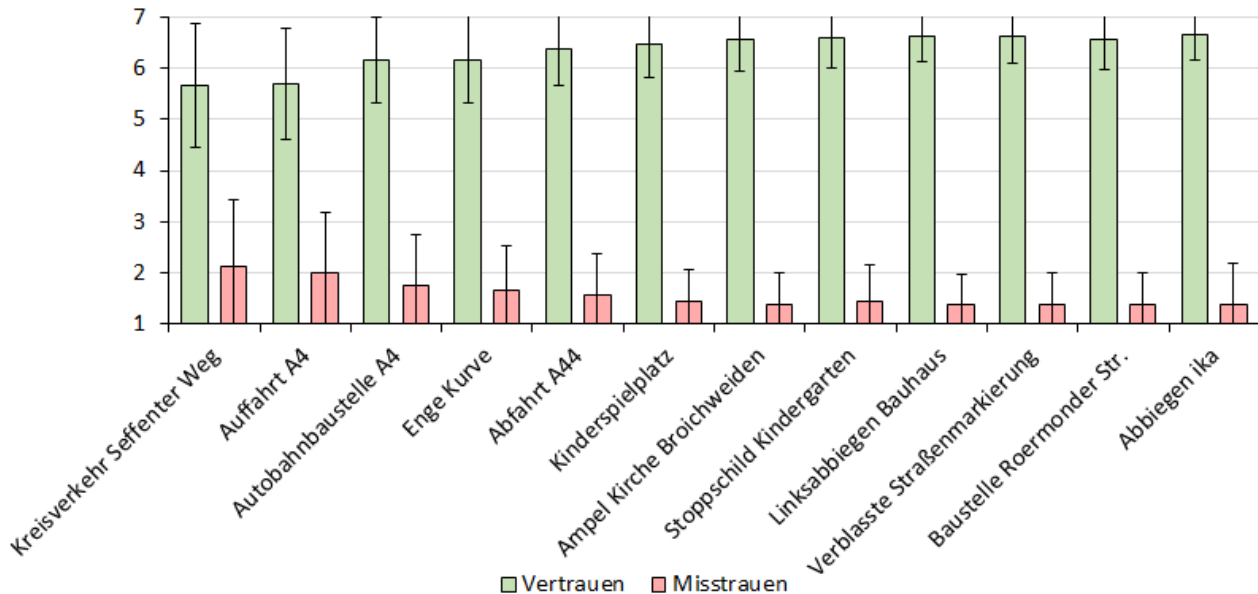


Abbildung 9: Darstellung der deskriptiven Ergebnisse der Kurzabfragen zu Vertrauen und Misstrauen im Fahrtverlauf in unterschiedlichen Fahrsituationen.

Ein ähnliches Muster zeigt sich in den Ergebnissen der Vor- und Nachbefragung hinsichtlich des Vertrauens- und Misstrauensniveaus. Inferenzstatistisch zeigt sich, dass das Vertrauen vor der Fahrt niedriger war als nach der Fahrt,  $F(1, 59) = 130.68$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .69$ . Ebenso zeigt sich inferenzstatistisch vor der Fahrt ein höheres Misstrauen als nach der Fahrt,  $F(1, 59) = 56.21$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .49$ .

Auch in Bezug auf die literaturbasiert abgeleiteten vertrauenskritischen Fahrsituationen fällt auf, dass diese mit niedrigen Misstrauensratings bewertet wurden: dabei weisen alle vertrauenskritischen Fahrsituationen signifikant niedrigere Werte als die Skalenmitte 4 auf. Im Rahmen der Nachbefragung wurden die Teilnehmer\*innen darum gebeten, zusätzliche Verkehrssituationen anzugeben, in denen sie dem System besonders misstraut haben. Hierzu nannten die Teilnehmer\*innen Verkehrssituationen, in denen Kinder beteiligt oder anwesend waren, Fahrbahnverengungen und Situationen, in denen die Verkehrssituation nicht vollständig einsehbar ist, z.B. indem andere Fahrzeuge die Sicht versperren (jeweils  $n = 5$  Nennungen). Zudem wurden Kreuzungssituationen bzw. Abbiegevorgänge und das Befahren der Autobahn genannt (jeweils  $n = 4$  Nennungen).

Die Studienteilnehmer\*innen wurden nach der Teilnahme gefragt, was ihr Misstrauen in das automatisierte System verringert hätte. Hierbei wurde vor allem genannt, dass eine ungehinderte Beobachtung des Verkehrsgeschehens ( $n = 9$  Nennungen), die Anzeige eine Navigation oder der

Routenansicht ( $n = 7$  Nennungen), eine Möglichkeit der Einflussnahme auf das Fahrzeug ( $n = 6$  Nennungen) oder Feedback zur sensorischen Erfassung der Umgebung ( $n = 6$  Nennungen) das Misstrauen verringert hätte.

Die Modellprüfung des in AP 1 erstellten Rahmenwerks erfolgte durch eine Pfadanalyse. Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Zusammenhang des Personenfaktors Neigung automatisierten Systemen zu vertrauen auf das initiale Vertrauen vor der Versuchsfahrt. Zudem zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vertrauen nach der Versuchsfahrt und der Wahrgenommenen Sicherheit, sowie zwischen der Wahrgenommenen Sicherheit und der Nutzungsintention.

### **Fazit zur Realfahrtstudie**

Die Ergebnisse der Realfahrtstudie zeigen allgemein hohe Vertrauensratings und niedrige Misstrauensratings, sowohl in der Vor- und Nachbefragung, wie auch in den Kurzabfragen während der Versuchsfahrt. Zudem zeigen die Ergebnisse, dass das Vertrauen in das automatisierte System nach der Nutzung höher ist als vor der Nutzung. Zusätzlich deuten die Ergebnisse darauf hin, dass das Misstrauen im Fahrtverlauf sinkt, während das Vertrauen ansteigt, wobei der Gewöhnungseffekt nicht isoliert interpretiert werden kann, da die Reihenfolge der Situationen aufgrund der festgelegten Routenführung gleich war. Zusätzlich wurden die Fahrer\*innen instruiert, die Fahrweise eines automatisiert fahrenden Fahrzeugs zu imitieren. Durch die resultierende defensive Fahrweise des Wizard-of-Oz Fahrzeugs wurden vertrauskritische Fahrsituationen nicht provoziert und die Fahrweise von Teilnehmer\*innen als angenehm und vorausschauend beschrieben.

In Bezug auf das in AP 1 erstellte Rahmenwerk zeigt sich zum einen, dass Vertrauen nach der Fahrt einen signifikanten Einfluss auf die wahrgenommene Sicherheit hat. Zum anderen hat das Vertrauen nach der Fahrt durch den direkten Einfluss auf die wahrgenommene Sicherheit einen indirekten Einfluss auf die Nutzungsintention. Somit agiert die wahrgenommene Sicherheit als Mediator zwischen dem Vertrauen und der Nutzungsintention. Die wahrgenommene Sicherheit ist daher ein zentraler Faktor in der Bewertung von automatisierten Fahrsystemen. Die individuelle Tendenz zur Ängstlichkeit bzw. die aktuelle Ängstlichkeit (trait und state anxiety) haben hingegen keinen Einfluss auf das Vertrauen vor der Fahrt.

Interessanterweise wurden die in AP 1 abgeleiteten vertrauskritischen Fahrsituationen von den Studienteilnehmer\*innen nicht als signifikant vertrauskritisch bewertet. Eine mögliche Erklärung für die gefundenen Ergebnisse ist, dass die Anwesenheit des/der Sicherheitsfahrer\*in einen positiven Einfluss auf das Vertrauen und die wahrgenommene Sicherheit gehabt haben könnte. Zudem haben sich während der Fahrt sowohl der/die Sicherheitsfahrer\*in als auch die Versuchsleitung ruhig verhalten. Es ist denkbar, dass dies einen Einfluss auf das Erleben der Versuchsperson gehabt haben könnte. Es ist dahingehend denkbar, dass durch Versuchsleitung und Sicherheitsfahrer\*in - im Sinne eines kollektiven Sicherheitsempfindens – implizit der Eindruck entstanden sein könnte, dass die Situation stets unter Kontrolle sei.

Insgesamt hatten nur  $n = 2$  Studienteilnehmer\*innen die Vermutung, dass das Fahrzeug nicht automatisiert fahren könnte. Das zeigt, dass die Cover Story insgesamt funktioniert hat.

Insgesamt sind alle Ziele des AP3 erreicht worden, was nicht zuletzt durch die erfolgreiche Durchführung der Probandenstudie im Realverkehr unter Beweis gestellt werden konnte. Der dem PT angezeigte Projektverzug des AP3 aufgrund des umfangreichen Zulassungs- und Zertifizierungsprozesses des Versuchsfahrzeugs bzw. der Versuchsfahrer konnte mittels unterschiedlicher Mechanismen seitens des Instituts abgefangen und ausgeglichen werden.

### **2.3 AP4: Agile Entwicklung der multimodalen Mensch-Maschine-Interaktion**

Innerhalb des AP4 werden die Arbeiten der nachfolgenden AP koordiniert, um eine Integration der einzelnen Entwicklungsstränge in ein Gesamtkonzept gewährleisten zu können. Insgesamt umfasst das AP somit zum einen eine ausführliche Anforderungsermittlung an die zu entwickelnden HMI Konzepte der AP 6 – 9. Zusätzlich werden die einzelnen Entwicklungsstränge in koordinierenden Terminen aufeinander abgestimmt, um eine Integrierbarkeit der Einzelkomponenten gewährleisten zu können. Die Abstimmungen zu der Integrierbarkeit des Demonstrators für die abschließende Evaluation entfallen dabei ebenso auf dieses AP wie die Koordination von Veröffentlichungen, welche mehr als einem einzelnen Partner oder einem einzelnen AP zuzuordnen sind.

Die Anforderungsermittlung basiert auf vier Arbeitsschritten. Initial wird dafür der Nutzungskontext konkret abgesteckt und die Rahmenbedingungen für die zu entwickelnden Systeme festgelegt. Eine gezielte Systementwicklung ist nur dann möglich, wenn die Rahmenbedingungen, die Umweltfaktoren sowie die Kontexte der Nutzung bekannt sind. Diese initial definierten Rahmenbedingungen geben somit einen klaren Entwicklungsrahmen für die Systeme vor und werden aus diesem Grund mit dem Gesamtkonsortium abgestimmt, da sie für alle beteiligten Partner von zentraler Bedeutung sind.

#### **Ermittlung eines initialen Anforderungsprofils aus Nutzersicht hinsichtlich der relevanten Ebenen eines MMI Systems nach den ESoP**

Der erste Arbeitsschritt war die „Ermittlung eines initialen Anforderungsprofils aus Nutzersicht hinsichtlich der relevanten Ebenen eines MMI Systems nach den ESoP“. Das offizielle Amtsblatt der Europäischen Union European Standards of Principles for HMI Design (ESoP) stellt ein grundlegendes Rahmenwerk mit Gestaltungsrichtlinien und Mindestanforderungen an Anzeige und Bedienkonzepte bereit.

Sie lässt sich in 6 Ebenen gliedern. Jede dieser Ebene ist in weitere Ziele und Prinzipien aufgeteilt, welche aus Nutzersicht grundlegende Anforderungen definieren. Die 6 Ebenen sowie die übergeordneten Ziele sind im Folgenden zusammengefasst:

##### **1. Gesamtdesign**

- Allgemeine Gestaltungsziele:
  - Erhöhung der Verkehrssicherheit
  - Vermeidung von Ablenkung
  - Vermeidung der Ermutigung zu gefährlichem Verhalten

##### **2. Installation**

- Mindestmaß an passiver Sicherheit
- Gute Zugänglichkeit der Anzeigen und Bedienteile

##### **3. Darstellung von Information**

- Dargestellte Informationen dürfen Fahrer nicht überfordern

- Notwendigkeit eines Prioritätsmanagement
- 4. Interaktion mit Anzeige- und Bedienteilen**
  - Fahrer muss jederzeit Kontrolle über das Fahrzeug haben
    - Interaktionen müssen daher
      - unterbrechbar sein
      - sich der Geschwindigkeit des Fahrers anpassen
      - mit einer Hand am Lenkrad bedienbar sein
- 5. Systemverhalten**
  - Das System darf die sicherheitsrelevanten Systemfunktionen nicht stören
  - Weder Bedienteile noch Anzeigen dürfen von einer nicht fahrtrelevanten Funktion verdeckt werden
- 6. Informationen zum System**
  - Um die Verständlichkeit und Sicherheit zu erhöhen, sollen die Funktionen in einfacher und leicht verständlicher Anleitung erläutert werden

Die einzelnen den Ebenen zugeordneten Prinzipien sind in eine Liste aus Anforderungen überführt worden und der Anforderungsliste beigefügt.

### **Berücksichtigung von Gesetzgebung, Standards und Guidelines**

Der zweite Arbeitsschritt umfasste die „Berücksichtigung von Gesetzgebung, Standards und Guidelines“. Basierend auf den juristischen Rahmenbedingungen, Standards und Normen sowie Gestaltungsempfehlungen ergeben sich bereits zahlreiche Anforderungen an die zu entwickelnden Systeme. Basierend auf der Recherche nach maßgeblichen Einflussfaktoren auf die Konzeption und Gestaltung der zu entwickelnden Systeme ist ein Katalog aus 23 Anforderungsquellen entstanden. Nach genauer inhaltlicher Prüfung der Anforderungsquellen ist der Katalog auf 18 relevante Anforderungsquellen kondensiert worden. Diese wurden im Detail analysiert und in projektrelevante Anforderungen überführt und der Anforderungsliste beigefügt.

### **Analyse ähnlicher Systeme außerhalb des Fahrzeugkontextes**

Der dritte Arbeitsschritt beinhaltet die „Analyse ähnlicher Systeme außerhalb des Fahrzeugkontextes“. Technologien und Systeme, welche in anderen Branchen schon seit geraumer Zeit im Einsatz sind, entwickeln teilweise erst deutlich später in adaptierter Form die Möglichkeit der Integration ins Fahrzeug. Die Gründe hierfür sind vielfältig und können von regulatorischen Barrieren bis zu technischen Problemstellungen ein weites Feld abdecken. Es ist aber speziell für die Konzeptentwicklung innovativer Anzeige- und Bedienkonzepte oftmals hilfreich, sich durch bereits integrierte Systeme anderer Branchen inspirieren zu lassen. Ebenso lassen sich anhand ähnlicher Systeme alternativer Branchen frühzeitig Anforderungen ableiten, die unter anderen Umständen erst spät im Entwicklungsprozess aufgekommen wären und somit zu teuren Anpassungen hätten führen können. Vielversprechende Branchen sind dabei üblicherweise andere Branchen des Verkehrssektors, wie beispielsweise die Luft- und Raumfahrt, der Schifffahrtverkehr oder der Schienenverkehr. Weiterhin ist im Speziellen für Anzeigesysteme auch die Branche der Unterhaltungselektronik interessant. Basierend auf den Recherchen konnten verschiedene Forschungsprojekte, Gestaltungsrichtlinien und iterative Entwicklungen aus den genannten Branchen identifiziert werden, welche relevant für die zu entwickelnden Teilsysteme sind. Anhand

detaillierter Analysen der Quellen konnten Anforderungen an die Systeme identifiziert und der Anforderungsliste beigelegt werden.

### **Anforderungsermittlung aus Nutzersicht**

Der vierte wesentliche Arbeitspunkt umfasst die abschließende „Anforderungsermittlung aus Nutzersicht“. Der Nutzer steht bei der Entwicklung der Teilsysteme des Verbundvorhabens im Fokus. Auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass Systeme entwickelt werden, welche die Bedürfnisse und Wünsche der Nutzer erfüllen und somit über die reine Funktionalität hinaus einen Mehrwert für die Nutzer bieten. Ergänzt werden die Ergebnisse der Anforderungsermittlung um Anforderungen aus Entwicklersicht, da diese speziell in Hinblick auf Realisierbarkeit und Serientauglichkeit einen großen Einfluss haben. Zur Erfassung der Anforderungen stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Innerhalb des Verbundprojektes ist zu diesem Zweck jeweils ein Workshop innerhalb des Konsortiums durchgeführt worden. Die Durchführung der Workshops wird im Folgenden ausführlicher erläutert. Die Ergebnisse sind der initialen Anforderungsliste als Ergebnis dieses AP zu entnehmen. Der Workshop zur Ermittlung der Nutzeranforderungen wurde unter Einbeziehung der mit dem Nutzer im direkten Kontakt stehenden Projektpartnern durchgeführt. Neben dem ika als Initiator des Workshops waren somit CanControls, Cerence, Charamel und Saint-Gobain an dem Workshop beteiligt. Aufgrund der hohen Abstraktivität der zu entwickelnden Konzepte sowie die fehlende Erfahrung mit automatisierten Fahrzeugen durch die Nutzer wurde methodisch auf eine direkte Einbeziehung der Nutzer verzichtet. Auch die Einschätzung einer technischen Realisierbarkeit ist durch Experten grundsätzlich eher möglich. Um den Nutzer dabei ebenso wie bei den weiteren Entwicklungen in den Fokus zu stellen, wurden repräsentative Personas entwickelt, welche möglichst unterschiedliche und breite Gruppen der späteren Zielgruppe abdecken. Personas sind ein etabliertes Mittel, um vielfältige Sichtweisen, Anforderungen und Bedürfnisse in Zusammenhang mit einem zu entwickelnden System erfassen und definieren zu können. Die für den Workshop entwickelten Personas sind der Abbildung 10 zu entnehmen. Zusammen umreißen die Personas einen Querschnitt durch die potenzielle Zielgruppe der zu entwickelnden Systeme.

Die teilnehmenden Experten wurden auf Gruppen verteilt, welche jeweils eine spezifische Persona vertraten. Die Aufgabe der Teilnehmenden war es, die Persona zu analysieren und sich in die Situation und das Leben der Persona hineinzudenken. Anschließend wurde ein typischer Tag aus dem Leben der Persona skizziert und die einzelnen Etappen des Tagesablaufes tabellarisch dokumentiert. Basierend auf den Etappen konnten so gezielt Herausforderungen in Bezug auf das automatisierte Fahrzeug und die Interaktion mit diesem identifiziert werden. Die identifizierten Herausforderungen konnten im Anschluss an den Workshop in entsprechende Anforderungen an die zu entwickelnden Systeme bzw. das Gesamtsystem überführt werden.

Der zweite Workshop zur Ermittlung der Entwickleranforderungen ist als Konsortialworkshop unter Beteiligung des gesamten Konsortiums sowie des assoziierten Projektpartners Ford erfolgt. Das Ziel dieses Workshops war es, die Anforderungsliste anhand der Entwicklersicht auf die Systeme zu ergänzen. Im Gegensatz zu dem vorab beschriebenen Workshop (Ermittlung der Nutzeranforderungen) lag der Fokus dieses Workshops auf der Ermittlung technischer Anforderungen. Es wurden dazu verschiedene Methoden der Konstruktionslehre analysiert und ein methodischer Ansatz synthetisiert. Basierend auf einer Auswahl an Hauptmerkmalen nach

Pahl/Beitz [PAH07], ergänzt durch Produktfragelisten und die Analyse der Produktlebensphasen konnten somit relevante Anforderungen für die initiale Anforderungsliste ergänzt werden.

Mithilfe der Aufbereitung der Ergebnisse und Erkenntnisse aus den zuvor beschriebenen Workshops konnte somit die Definition und Erfassung der erforderlichen Anforderungen für die erste Version der Anforderungsliste erstellt und dem Konsortium sowie dem Projektträger zur Verfügung gestellt werden.



Abbildung 10: Querschnitt der potenziellen Zielgruppe der zu entwickelnden HMI Konzepte anhand charakteristischer Personas

Eine weitere Tätigkeit, welche diesem AP zugeordnet werden kann, ist die Koordination des Veröffentlichungsprozesses des Papers „EMMI: Empathic Human-Machine Interaction for Establishing Trust in Automated Driving“. Das Paper beschreibt die Idee und die Entwicklungsansätze des Projektes.

Ein wesentlicher Bestandteil dieses APs ist ebenso die Identifikation und Absprache zu einer Aufteilung der Szenarien in Bezug auf die abschließende Evaluation der Teilsysteme. Durch intensive Forschung im Bereich der vertrauensrelevanten Szenarien im Kontext des Projektes konnte basierend auf den in AP1.1 identifizierten literaturbasierten Szenarien und weiterer, vom DFKI in anderen Forschungen identifizierten, Anforderungen aus dem Bereich der Passanten – Fahrzeugführer Kommunikation eine Lücke identifiziert werden, die speziell im Bereich der „Meet across the street“ Szenario, bei welchem Passanten auf zwei unterschiedlichen Straßenseiten miteinander interagieren, sodass eine Überquerung der Straße wahrscheinlich ist. Für das automatisierte System handelt es sich dabei entsprechend um eine schwer identifizierbare Situation, welche sich in Forschungsergebnissen des DFKI für Insassen des Fahrzeugs jedoch als stark vertrauensrelevant

erwiesen hat. In gemeinsamen Absprachen, welche durch das Institut koordiniert wurden, hat das Konsortium in dem Kontext entschieden, den Projektbaustein, welcher speziell die zwischenmenschliche, empathische Kommunikation zum Gegenstand hat, den Charakter und die Interaktionslogik des AP8, speziell auf dieses neue, ergänzende und differierende Szenarienset zu stützen. Demzufolge wurde ein entsprechendes ergänzendes Szenarienset aufgebaut und durch eine Onlinestudie untersucht. Die Studienergebnisse unterstützen die enorme Bedeutung, die diesem Szenarienset zukommt. Aufgrund der unterschiedlichen Schwerpunkte der Szenariensets und der technischen Realisierung der hochdynamischen Fahrsimulation ist eine Abbildung des ergänzenden Szenariensets in der Studie im hochdynamischen Fahrsimulator weder möglich noch zielführend. Die Studie im hochdynamischen Fahrsimulator zeichnet sich durch die Dynamik aus und macht so Effekte messbar, welche durch diese Dynamik beeinflusst werden. Da eine Interaktion mittels Stimme nachvollziehbar nicht durch die Dynamik der Simulation beeinflusst wird, bietet eine Abbildung des ergänzenden Szenariensets im hochdynamischen Fahrsimulator keinen erkennbaren Mehrwert. Im Sinne der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit wird daher auf diese Simulation verzichtet. Zur abschließenden Evaluation wird stattdessen eine Studie mit Nutzenden in dem entwickelten HMI-Prüfstand des Instituts durchgeführt und so die Wirksamkeit des emphatischen Assistenten untersucht.

Eine weitere Tätigkeit, welche dem AP4 zuzuordnen ist die Einreichung eines wissenschaftlichen Artikels für die April-Ausgabe 2023 der ATZ. Gegenstand des Artikels ist das durch das Institut entwickelte und aufgebaute Untersuchungsfahrzeug nach dem Wizard-of-Oz Experimentalansatzes.

Insgesamt konnten alle in AP4 definierten Ziele erreicht werden, was sich nicht zuletzt durch die erfolgreiche Integration der Systeme in den finalen Demonstrator zur abschließenden Evaluation des Gesamtsystems zeigt.

## **2.4 AP 6: Situationsangepasste Visualisierung von Fahrzeuginformationen**

AP6 beinhaltet die Konzeptentwicklung für das visuelle HMI-Konzept zur Beeinflussung des Nutzervertrauenszustandes. Es baut dabei auf den in AP5 entwickelten Systemen zur technischen Realisierung einer Visualisierung in der Fahrzeugverglasung auf. Neben den konventionellen Anzeigeflächen im Fahrzeug (Bildschirme, Instrument-Cluster etc.) steht somit für die in AP6 zu entwickelnden Anzeigesysteme auch die Fahrzeugverglasung als potenzielle Anzeigefläche zur Verfügung. Das AP ist in AP6.1 und AP6.2 unterteilt. Da die AP sich zwar inhaltlich, nicht jedoch im praktischen Projektverlauf voneinander abgrenzen lassen, wird auf eine Unterscheidung der Teilarbeitspakete innerhalb des Abschlussberichts verzichtet.

Das Ziel der Anzeigekonzepte des AP6 ist es, über die Anzeige von Informationen das Nutzervertrauen in relevanten Situationen gezielt zu beeinflussen. Zusätzlich sollen die Anzeigekonzepte dieses Arbeitspaketes einen spürbaren Mehrwert für die potenziellen Nutzer und Nutzerinnen darstellen und darüber die Kaufbereitschaft und Akzeptanz der Systeme stärken.

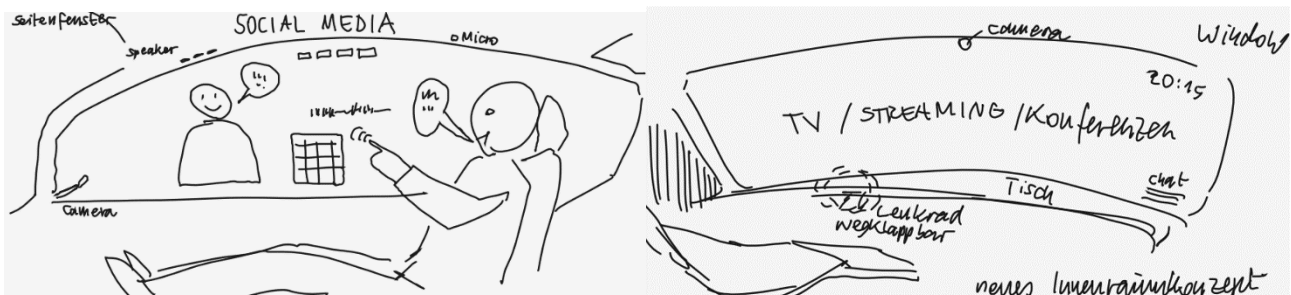
Zu Beginn von AP 6 wurden mehrere Workshop-Reihen mit interdisziplinären Teilnehmern durchgeführt. Ziel der Workshops war es, mithilfe verschiedener Kreativmethoden zu unterschiedlichen Konzeptansätzen zu gelangen, wie ein Anzeigekonzept gestaltet werden könnte, um das Thema des Vertrauens in das Automatisierte Fahren zu beeinflussen. Dabei wurden zwei mögliche Lösungsansätze erarbeitet. Bedingt dadurch, dass einzelne Ansätze weiterverfolgt und

iteriert wurden, andere Lösungsansätze hingegen nach der Ideenphase verworfen wurden, weisen die Skizzen und Grafiken zur Erläuterung der Ansätze variierende Detailtiefen auf.

## Lösungsansätze

### 1. Nebentätigkeiten (non-driving-related activities – NDRAs)

Durch automatisierte Fahrfunktionen ist es für die Nutzenden möglich, zusätzliche Zeit, die während der konventionellen Fahrt für die Durchführung oder Überwachung der primären Fahraufgabe aufgewendet werden müsste, für nicht fahrrelevante Nebentätigkeiten (NDRAs) aufzuwenden. Ein potenzieller Ansatz, um das Vertrauen in automatisierte Fahrfunktionen zu beeinflussen, ist es, die Nutzung dieser dazugewonnenen Reisezeit durch bereitgestellte Systeme sinnvoll zu unterstützen und so einen Mehrwert zu generieren. Dem Ansatz liegt die Hypothese zugrunde, dass die gezielte Unterstützung und Ermöglichung von Nebentätigkeiten die Akzeptanz in Bezug auf das Gesamtsystem steigern könnte, was wiederum einen positiven Einfluss auf das Vertrauensniveau der Nutzenden haben könnte. Unter Nebentätigkeiten wird in diesem Kontext alles zusammengefasst, was nicht der Bewältigung der primären Fahraufgabe dient. In Abbildung 11 sind Skizzen zu potenziellen Nebentätigkeiten während einer hochautomatisierten Fahrt sowie zu ihrer Integration in das entsprechende Fahrzeugkonzept gegeben.



- a) Social Media und Videokonferenzen als potenzielle NDRA  
 b) Video-on-Demand, TV oder Konferenzen als potenzielle NDRA

Abbildung 11: Skizzen zur Integration potenzieller NDRAs in ein automatisiertes Fahrzeug

### 2. Automation Awareness

Der Lösungsansatz der „Automation Awareness“ verfolgt das Ziel, durch gezielte Transparenz der automatisierten Fahrfunktion und die Visualisierung situationsspezifischer Informationen das Verständnis der Nutzenden über die Handlungen und Entscheidungen der Automation zu stärken. Über ein gesteigertes Verständnis für die Automation könnte somit potenziell auch das Vertrauensniveau der Nutzenden in Bezug auf die Systeme beeinflusst werden, indem sich das mentale Modell bezüglich der Automation korrekt einstellt. Relevante Informationen werden dabei entweder über die Fahrzeugverglasung (vgl. AP5) oder Displayflächen im Fahrzeug visualisiert. Als relevante Informationen bezüglich der Automation könnten in diesem Kontext die geplante Trajektorie, erkannte Hindernisse und notwendige Sicherheitsabstände dienen. In kritischen Situationen wäre eine klare Visualisierung der Entscheidungen und der Grundlagen für die Entscheidungsfindung potenziell relevanter. Eine exemplarische Visualisierung einer Anzeige zur Steigerung des Verständnisses für die automatisierte Fahrzeugführung ist in Abbildung 13 gegeben.

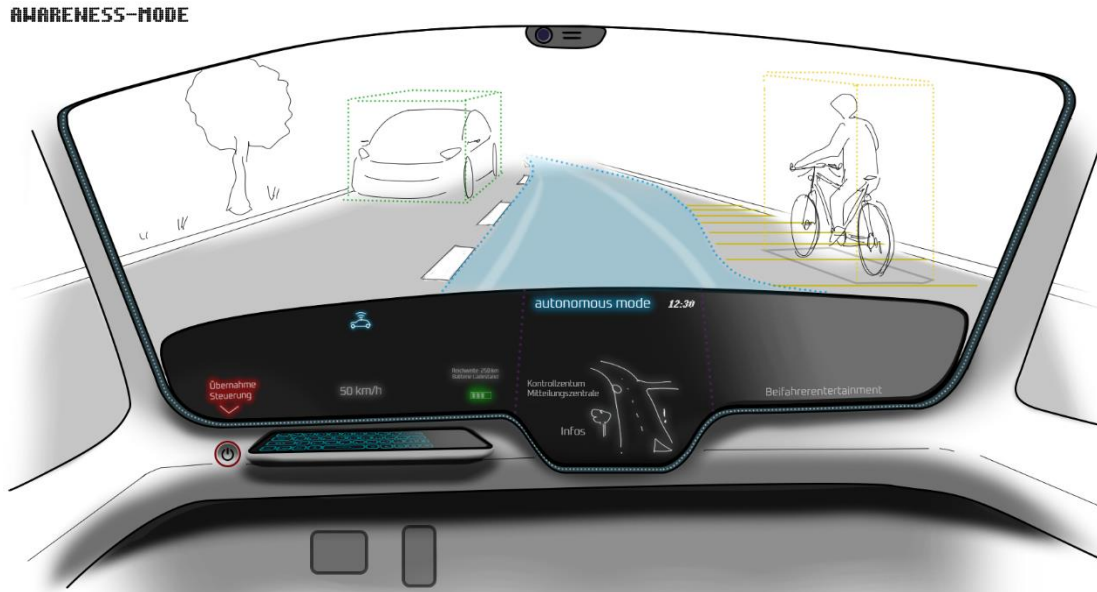


Abbildung 13: Beispielhafte Visualisierung einer Anzeige zur Steigerung des Verständnisses für automatisierte Fahrfunktionen

Der Fokus in AP 6 wurde anschließend auf den Lösungsansatz der „Automation Awareness“ gelegt, da das Verständnis und die Nachvollziehbarkeit von Aktionen der automatisierten Fahrzeuge für die Kalibrierung des Vertrauenslevels gerade zu Beginn der Nutzung von hoher Relevanz ist. Um den aktuellen Stand der Technik bezüglich des Informationsbedarfs von Passagieren während der automatisierten Fahrt zu analysieren, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Informationsbedarf von Person zu Person variiert. Zusätzlich sinkt der Informationsbedarf im Laufe der Zeit aufgrund des steigenden Vertrauens in die Automation [BEG15]. Abbildung 12 und Abbildung 14 fassen die Ergebnisse der Literaturrecherche zusammen.

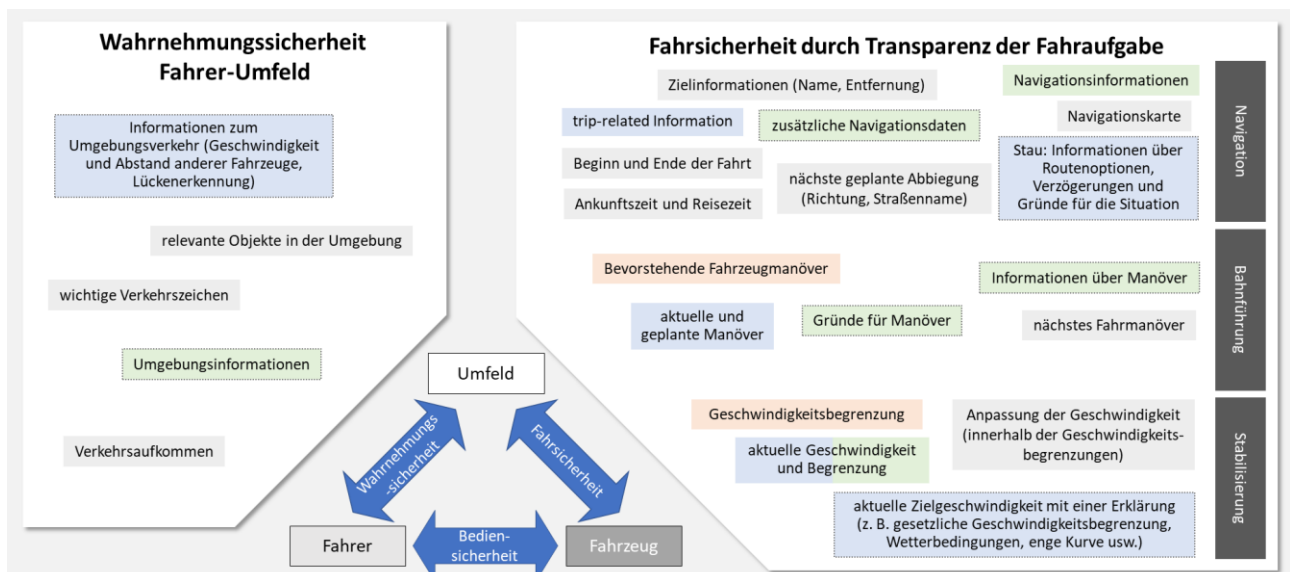


Abbildung 12: Informationsbedarf während der hochautomatisierten Fahrt Teil 1

Die resultierenden Aussagen aus den Quellen [BEG15] (blau), [DIE17] (orange), [FEI21] (grün) und [KOR20] (grau) wurden thematisch anhand des Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modells gegliedert. Der Pfad der Wahrnehmungssicherheit beinhaltet wichtige Informationen und Objekte in der Umgebung von Fahrer und Fahrzeug. Die Fahrsicherheit kann durch Transparenz der Fahraufgabe geschaffen werden und beinhaltet Informationen zur Navigation, Bahnführung und Stabilisierung des Fahrzeugs (Abbildung 12). Zusätzlich wurden ebenfalls der Informationsbedarf hinsichtlich des Systemstatus, kritischer Situationen und der Interaktion und Bediensicherheit ermittelt (Abbildung 14). Die identifizierten Informationen teilen sich in permanente und situationsabhängige Informationen auf, die nur in speziellen Szenarien benötigt werden, wie beispielsweise Gründe für Manöver.

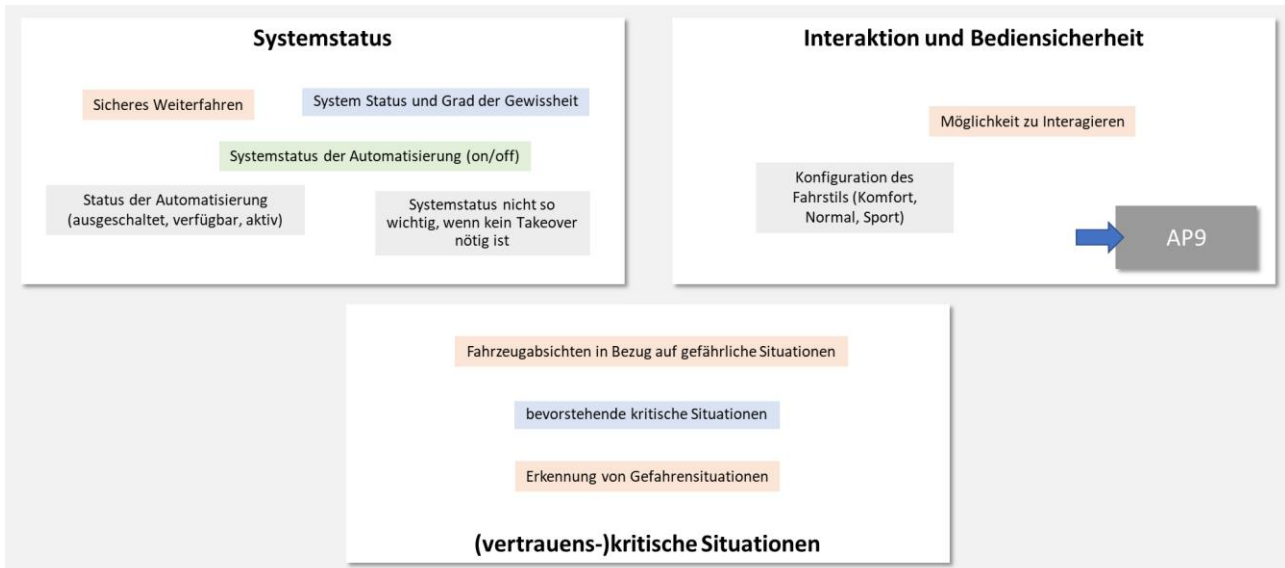


Abbildung 14: Informationsbedarf während der hochautomatisierten Fahrt Teil 2

Des Weiteren wurden aktuelle Konzepte zu Visualisierungen in der Windschutzscheibe am Stand der Technik recherchiert. In [FEI21] werden qualitative und quantitative Anforderungen an das Design von ARHUDs zusammengefasst. Untersuchungen haben gezeigt, dass das ARHUD in Maßen zur Technologieakzeptanz und Trust in Automation besser abschneidet als andere etablierte Systeme, wie das Konzept im Kombiinstrument oder ein herkömmliches Head-Up-Display [SCH18, FEI19, FEI21]. In den Referenzstudien stand die teilweise automatisierte Fahrt im Fokus, weswegen vor allem das Monitoring und Übernahmeszenarien untersucht wurden. Im Sinne des Ansatzes zur „Automation Awareness“ haben Konzepte zur Überwachung der Automation auch einen Einfluss auf das Vertrauen in die Automation. Des Weiteren **haben [HAE16] und [RIE19]** untersucht, welche Bereiche der Windschutzscheibe für vorgegebene Anzeigehalte wie Fahrzeuginformationen oder Warnungen von Nutzenden präferiert werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Platzierung stark variieren, aber generell der direkte Sichtbereich vermieden wurde, außer für dringende Warnungen [HAE16]. Allerdings wählten Nutzende bei höherer Automatisierung auch größere Bereiche beziehungsweise eine höhere **Deckkraft [RIE19]**.

Anschließend an die theoretische Analyse, wurde für die Konzeptentwicklung eine virtuelle Umgebung mit inner- und außerstädtischen Verkehrssituation aufgebaut. Innerhalb dieser Umgebung wurde anschließend eine festgelegte automatisierte Fahrt umgesetzt, die nacheinander verschiedene vertrauenskritische Situationen in der Innenstadt und auf der Autobahn beinhaltet. Da sich die Realfahrtstudie aus AP3 verzögerte, wurden die implementierten, vertrauenskritischen Situationen literaturbasiert festgelegt. Abbildung 15 zeigt in chronologischer Reihenfolge die durchlaufenen Situationen. Nach dem Start fährt das Fahrzeug in einen Kreisverkehr ein und verlässt ihn in der 2. Ausfahrt. Nach einer Abbiegung an einer Ampel und verschiedenen Kreuzungssituationen in der Innenstadt, hält das Fahrzeug für einen Fußgänger an einem Zebrastreifen. Anschließend werden verschiedene Situationen auf der Autobahn durchlaufen. Nach der Autobahnabfahrt gibt es eine Strecke mit hoher Geschwindigkeit, sowie eine Baustelle und anschließend die Autobahnabfahrt.

### Expertenbefragung

An der Expertenbefragung nahmen insgesamt 17 Experten teil, 13 männlich und 4 weiblich im Alter zwischen 25 und 36 Jahren. Alle Teilnehmer hatten einen Führerschein und verfügten über 6 bis 18 Jahre Fahrpraxis, sowie bereits Erfahrungen in verschiedenen Bereichen des automatisierten Fahrens. Die unabhängige Variable der Befragung war die Anzeigemodalität. Die vertrauenskritische automatisierte Fahrt wurde einmal in der EMMI-Sitzkiste mithilfe eines Fernsehers und zum anderen mithilfe einer VR-Brille gezeigt. Die abhängigen Variablen, also die Messgrößen der Befragung waren das Vertrauen in die Automation, die wahrgenommene Sicherheit, Immersion sowie qualitative Fragen zu Visualisierungen. Somit konnten Visualisierungswünsche explizit für jede Situation abgefragt werden.

Die Expertenbefragung begann mit der Erhebung der demografischen Daten mit anschließenden Fahrten in VR und der Sitzkiste. Bei der automatisierten Fahrt sollten die Teilnehmer nach jeder vertrauensrelevanten Situation ihr Vertrauen auf einer Skala bewerten sowie Ideen zu Anzeigen in der Windschutzscheibe nennen. Anschließend an die beiden Fahrten wurden bereits existierende

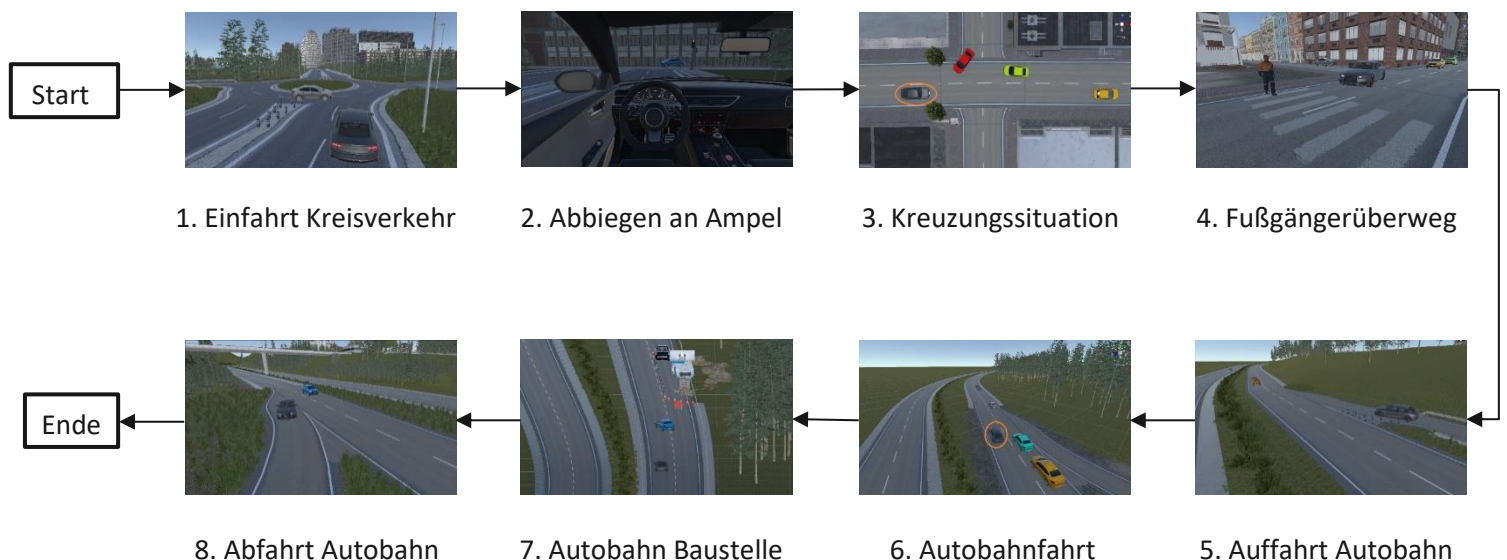


Abbildung 15: Vertrauenskritische Situationen

Visualisierungskonzepte gezeigt und nach einer Einschätzung der Experten gefragt, ob sie sich vorstellen können, dass sich die Anzeigen positiv auf ihr Vertrauen auswirken. Dabei stimmten bis auf eine Person alle mit der Aussage überein, dass durch Visualisierungen ihr Sicherheitsgefühl beziehungsweise Vertrauen gesteigert werden könne.

## Ergebnisse

Die Bewertung der Vertrauenskritikalität der acht Situationen ist in Abbildung 16 zu sehen. Dabei ist anzumerken, dass bis auf 2 Situationen die Sitzkiste als vertrauskritischer eingestuft wurde. Dies liegt vor allem daran, dass das Sichtfeld dort eingeschränkt war im Vergleich zu der VR-Brille, mit der der Proband sich in alle Richtungen drehen kann, um so die Situation besser zu erfassen. Insgesamt wurden besonders die Situationen 3, 4, 5 und 7 als sehr vertrauskritisch bewertet. Diese Ergebnisse stützen die Annahme aus der Literaturrecherche, dass innerstädtische Situationen, vor allem bei der Beteiligung ungeschützter Verkehrsteilnehmer wie Fußgängern, und spezielle Situationen auf der Autobahn, wie die Autobahnauffahrt oder eine Baustelle, besonders vertrauskritisch sind. Anschließend wurden die Wünsche zu Visualisierungen in den einzelnen Situationen ausgewertet. Insgesamt wurden Informationen zur Wahrnehmungssicherheit Fahrer-Umfeld gefordert, zu denen mit der Erkennung von Verkehrszeichen, Ampelanlagen und Umgebungsinformationen auch die Personenerkennung in Situation 4 zählt. Gleichzeitig sind Visualisierungen zur Transparenz der Fahraufgabe, wie geplante Aktionen und Trajektorien und bevorstehende Manöver von großer Bedeutung. Bei der abschließenden Befragung zu bestehenden Visualisierungskonzepten bestätigen alle bis auf eine Person, dass durch Visualisierungen das Sicherheitsgefühl und Vertrauen in die Automation gesteigert wird.

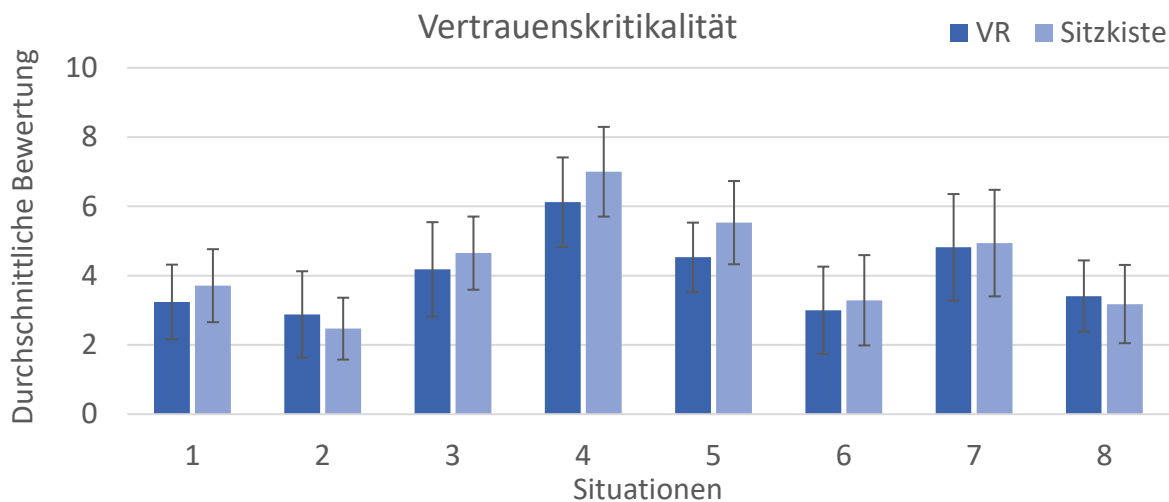


Abbildung 16: Bewertete Vertrauenskritikalität der Situationen

Anschließend an die Bewertung der Vertrauensrelevanz der Situationen, wurde eine innerstädtische und eine Autobahn Situation definiert, auf welche die Konzepte der Visualisierung der Fahrzeugdaten angewendet wurden. Die städtische Situation beinhaltet einen Kreisverkehr, einen Passanten, der die Straße an einem Zebrastreifen überquert sowie eine Kreuzung (s. Abbildung 17). Auf der Autobahn wird die Autobahnauffahrt und eine Baustelle abgebildet.



Abbildung 17: Draufsicht der entwickelten städtischen Umgebung in virtueller Realität

Für beide Situationen wurden Konzepte für Augmented Reality HUDs in virtueller Realität umgesetzt. Abbildung 18 zeigt beispielhaft Visualisierungen für die Stadt- und Autobahnfahrt. Zur Anzeige wurden statische Elemente wie die Ist- und Sollgeschwindigkeit sowie dynamische Elemente wie die Markierung von anderen Verkehrsteilnehmern durch Bounding Boxes verwendet. In Workshops wurden verschiedene Informationsdichten getestet, um die optimale Menge an Anzeigen zu identifizieren.

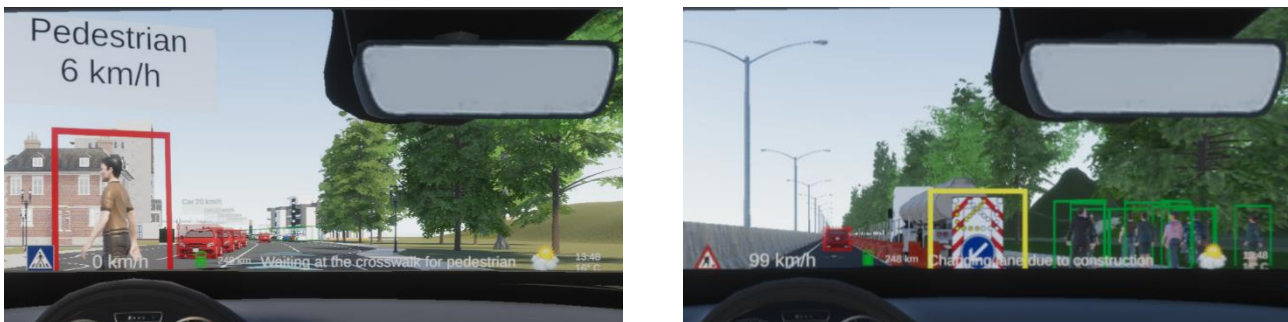


Abbildung 18: AR-HUD Konzepte für den Fußgängerüberweg (links) und die Autobahnbaustelle (rechts)

### Finale Umsetzung

Da in AP5 ein Schwarzdruck (engl. Blackprint) Display entwickelt wurde, welches auch bei der finalen Evaluation zum Einsatz kam, wurden die existierenden Visualisierungskonzepte auf den Anzeigebereich Blackprint Display angepasst. Die Konzepte wurden in verschiedenen Expertenworkshops und heuristischen Evaluationen iteriert. Im Endresultat (s. Abbildung 19) wurde der Anzeigebereich in verschiedene Teile unterteilt. Links befinden sich übliche Statusinformationen des Clusters, das beispielsweise die aktuelle Geschwindigkeit, Batteriestatus und erkannte Geschwindigkeitslimits, sowie den Status der Automatisierung enthält. Da die vertrauensrelevanten Anzeigen im Blackprint Display nicht als Überlagerung der realen Welt dargestellt werden können, wurde eine 3D Ansicht als Abbild der realen Welt entwickelt. Es werden erkannte Objekte in einer virtuellen Fahrbahn angezeigt, sodass der Fahrer direkt erkennen kann, welche Umgebungsfahrzeuge von der Automation erkannt wurden. Zusätzlich enthält dieser Bereich Navigationsinformationen und Hinweise zur Regelung auf erkannte Objekte. Der Bereich rechts, der sich direkt im Blickfeld des

Beifahrers befindet, wurde für Infotainment Inhalte reserviert, welche bei diesem Konzept allerdings nicht ausgearbeitet wurden.

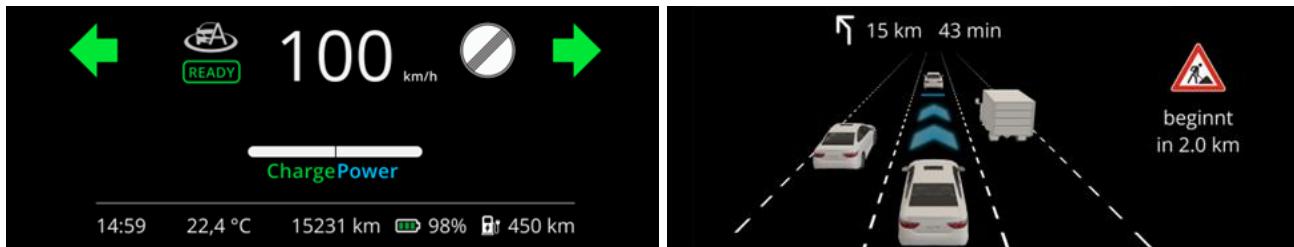


Abbildung 19: Ansicht des Blackprint Displays auf der Autobahn

Tabelle 5: entwickelte Konzepte für die zugehörigen Informationsbedarfe fasst die Konzepte zusammen, die abschließend umgesetzt wurden.

Tabelle 5: entwickelte Konzepte für die zugehörigen Informationsbedarfe

Informationsbedarf	Konzept
<b>Geschwindigkeit &amp; Status</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktuelle und Zielgeschwindigkeit</li> <li>• Geschwindigkeitsbegrenzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschwindigkeitsanzeige in Statuszeile</li> <li>• Begründung für Zielgeschwindigkeit als Icons</li> <li>• Status der Automatisierung</li> </ul>
<b>Umgebungsinformationen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relevante Objekte</li> <li>• Verkehrszeichen</li> <li>• Abstand anderer Fahrzeuge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „ADAS View“ zur Visualisierung, dass Fahrzeuge erkannt wurde</li> <li>• Markierung des ACC Fahrzeugs</li> <li>• Verkehrszeichenerkennung</li> </ul>
<b>Navigation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Route / Fahrspur</li> <li>• Ankunftszeit, Ziel</li> <li>• Routenoptionen bei Stau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bumerang Trajektorie (situationsabhängige Anpassung)</li> <li>• Informationen zur Route, Ankunftszeit, Ziel</li> <li>• Blinker</li> </ul>

Für die finale Studie im hochdynamischen Fahrsimulator wurde die Anzeige mit der gefahrenen Simulation synchronisiert. Dazu wurde die Kommunikation zur Simulation mithilfe von UDP und Socket.io Nachrichten aufgebaut. Die relevanten Informationen werden anschließend über eine Python Bridge verarbeitet und an die Visualisierung weitergegeben. Die Ergebnisse der finalen Evaluation sind in AP 10 dokumentiert.

## 2.5 AP 9: Indirekter Nutzereingriff in das Fahrverhalten

Das AP9 umfasst die Forschungs- und Entwicklungsbemühungen um die Thematik einer indirekten Fahrzeugführung. Das Ziel ist es, unterschiedliche Modalitäten auf ihre Eignung als Eingabemodalität einer solchen indirekten Schnittstelle zur Fahrtbeeinflussung zu prüfen und geeignete Konzepte auszuarbeiten und zu erproben. Das Prinzip der indirekten Beeinflussung der automatisierten Fahrt beschreibt dabei ein Konzept, in welchem die Kontrolle über das Fahrzeugverhalten und die Verantwortung für ein verkehrssichere Fahrverhalten zu jedem Zeitpunkt bei dem automatisierten System liegt. Um für die Nutzenden des automatisierten Systems jedoch das Gefühl des Kontrollverlusts zu vermeiden, wurde innerhalb des AP9 eine Interaktionslogik und unterschiedliche Interaktionsschnittstellen entwickelt und untersucht, welche

die Beeinflussung dedizierter Parameter der automatisierten Fahrzeugführung während der automatisierten fahrt innerhalb spezifischer, sicherheitsrelevanter Grenzen ermöglichen. Das Vorgehen innerhalb des AP9 gliedert sich dabei in die folgenden Teilarbeitsschritte:

1. Definition von relevanten Fahrparametern der automatisierten Fahrt, welche den Nutzenden des Systems adaptierbar zur Verfügung gestellt werden
2. Evaluation der Eignung unterschiedlicher Modalitäten zur Realisierung einer Schnittstelle für die Adaption der definierten Fahrparameter während der automatisierten Fahrt
3. Exemplarische Umsetzung von Konzepten zur Adaption der definierten Fahrparameter während der automatisierten Fahrt mithilfe der definierten Eingabeparameter
4. Untersuchung und Evaluation der Interaktionslogik und der aufbauenden Interaktionskonzepte in Form unterschiedlicher Experten- und einer abschließenden Nutzerstudie

Nachfolgend wird das systematische Vorgehen innerhalb des AP9 sowie die Ergebnisse der einzelnen Teilarbeitsschritte dargelegt.

### **Definition von relevanten Fahrparametern der automatisierten Fahrt**

Im ersten Schritt des AP9 ist das wesentliche Ziel die Identifikation der relevanten Parameter, welche für Nutzende der Systeme während der automatisierten Fahrt beeinflussbar gestaltet werden sollen. Ziel ist es dabei, die Frage zu beantworten, wann und wie der Nutzende in die Lage versetzt werden soll, das Verhalten des automatisierten Fahrzeugs zu beeinflussen. Dabei wird zwischen der Beeinflussung durch den Nutzer durch Anpassung und durch Ad-hoc-Eingriffe unterschieden: "Bei der Individualisierung kann der Nutzer das Verhalten des Systems beeinflussen, indem er Einstellungen vornimmt, die das Verhalten des Systems während einer ganzen Fahrt oder für alle zukünftigen Fahrten bestimmen. Im Falle von Ad-hoc-Eingriffen wird das Verhalten des Fahrzeugs in einzelnen Situationen spontan beeinflusst" [TER20]. Im Kontext des AP9 liegt der Schwerpunkt auf den Ad-hoc-Eingriffen.

Die Identifikation der relevanten Ad-hoc-Eingriffe erfolgt im Kontext des Projektes über zwei unterschiedliche Ansätze. Ziel ist es, durch den redundanten Ansatz gewährleisten zu können, dass keine relevanten Fahrparameter unberücksichtigt bleiben, welche einen Einfluss auf das Vertrauen der Nutzenden haben könnten. In einem ersten Schritt erfolgt die Analyse aktueller Fahrerassistenzsysteme in Hinblick auf die durch die Systeme geregelten Fahrparameter. In einem zweiten Schritt werden unterschiedliche empirische Studien analysiert, welche potenzielle Einflüsse der Individualisierbarkeit der automatisierten Fahrt an persönliche Präferenzen auf die wahrgenommene Zuverlässigkeit der automatisierten Fahrzeugführung untersucht haben. In den Untersuchungen wurden durch die Nutzenden der automatisierten Systeme Fahrparameter definiert, welche nach der persönlichen Wahrnehmung einen wichtigen Einfluss auf die Zuverlässigkeit des automatisierten Systems haben. Die Erfassung dieser Parameter dient somit als nutzerseitiger Eingang in das zu entwickelnde Interaktionskonzept.

Der aktuelle Stand der Technik von ADAS-Funktionen dient als Grundlage, den Umfang der Funktionalität für den Nutzer zu bestimmen [SCH12]. Aus der Betrachtung von ACC Stop & Go, LKAS, Spurwechselassistenten (LCA) und Schilderererkennung, lassen sich die wichtigsten Manöver für das

kooperative manöverbasierte Fahren ableiten. Es ergeben sich die Manöver zu Folgen oder Spurwechsel sowie zu Parameteranpassungen wie der gewünschten Fahrzeuggeschwindigkeit, der Exzentrizität oder des Zeitabstands zum vorausfahrenden Fahrzeug. Dies sind Manöver und Parameter, die in einem typischen Autobahnszenario benötigt werden [FRA12].

Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Anpassung der automatisierten Fahrt an die individuellen Bedürfnisse der Nutzer die wahrgenommene Zuverlässigkeit des Systems deutlich erhöhen kann [SUN20]. Die Fahrparameter, die von den Nutzern als wichtig erachtet werden, sind die Fahrgeschwindigkeit und die Beschleunigungsrate für die Längssteuerung und die Fahrspurposition für die Quersteuerung [SUN20, TER20]. Darüber hinaus ist die Fähigkeit der Nutzer, Überholmanöver einzuleiten, die einen Wechsel der Fahrspur erfordern, ein entscheidender Aspekt, der von einem solchen System berücksichtigt werden sollte [HAB17, TER20].

In Anbetracht dieser Erkenntnisse wurde definiert, dass das entwickelte System der indirekten Fahrzeugführung dem Nutzer die folgenden Parameteranpassungen zur Verfügung stellt:

- Laterale Anpassungen von Fahrparametern
  - Spurwechsel links/recht
  - Anpassung der Exzentrizität innerhalb der eigenen Fahrspur (Offset links/rechts)
- Longitudinale Anpassungen von Fahrparametern
  - Anpassung der Fahrgeschwindigkeit (kein Vorderfahrzeug limitiert aktuelle Fahrtgeschwindigkeit)
  - Anpassung des Folgeabstands (Vorderfahrzeug limitiert aktuelle Fahrtgeschwindigkeit)
  - Starke Beschleunigung/Verzögerung

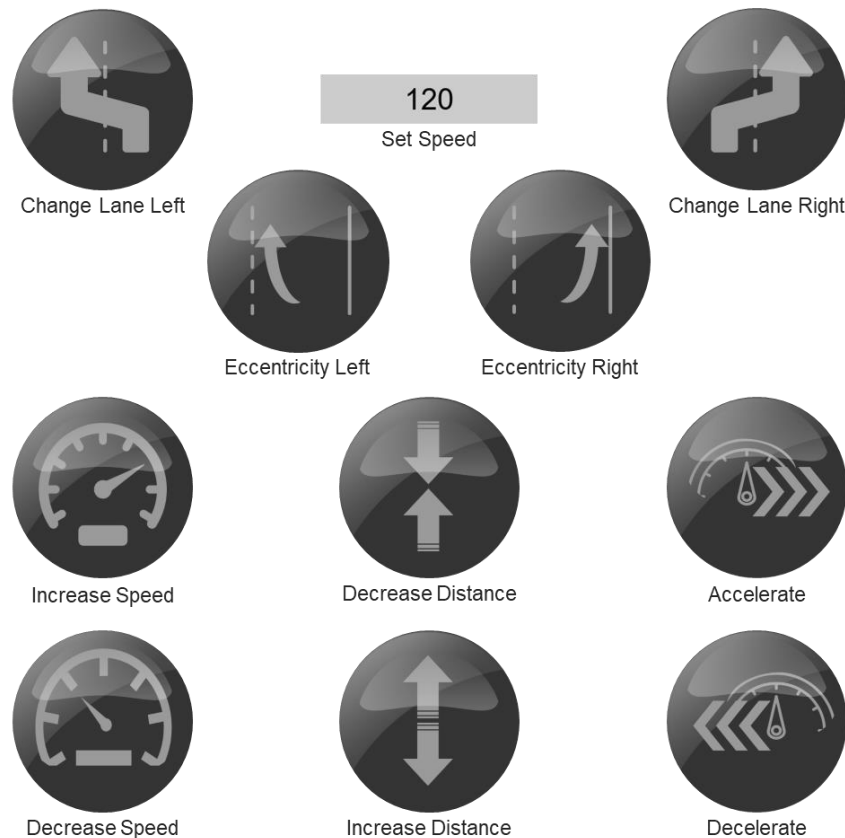


Abbildung 20: Übersicht der verfügbaren Adaptionen der automatisierten Fahrzeugführung

### Evaluation der Eignung unterschiedlicher Modalitäten

Grundsätzlich verfügt der Mensch über unterschiedliche Modalitäten, mithilfe derer er Eingaben vornehmen und Informationen aufnehmen kann. In Abbildung 21 ist die schematische Informationsübermittlung in Mensch-Maschine Systemen dargestellt. Innerhalb des AP 9 wurden die vorhandenen menschlichen Eingabemodalitäten auf ihre Eignung für die Konzeptrealisierung der indirekten Fahrzeugführung überprüft.

Sprache eignet sich grundsätzlich als Eingabemodalität für ein Konzept zur Realisierung der indirekten Fahrzeugführung. Im Kontext des Projektes ist zu diesem Zweck eine offline Sprachsteuerung beschafft worden, um mit ihr grundsätzlich die Konzepttauglichkeit zu untersuchen. Trotz des qualitativen Nachweises der Konzepttauglichkeit der Sprachsteuerung als Eingabemodalität, wurde das Konzept nicht weiter ausgearbeitet. Der Grund hierfür ist in der Legislative bzw. in etablierten Gestaltungsrichtlinien begründet. Die Spracheingabe sollte in keinem Fall als einzige Eingabemodalität zur Verfügung stehen, wie das European Statement of Principles (ESoP) der Europäischen Kommission [EUR08] betont, sondern ausschließlich als sekundäre unterstützende Eingabemethode genutzt werden. Obwohl gewissen Aufgaben sprachbasierte Interaktion begünstigen (Informieren und Fragen), spricht die Tatsache, dass die Situationen zeitkritisch sein können, gegen eine Sprachschnittstelle [TER20]. [SAN93] hat darüber hinaus mehrere Fälle identifiziert, in denen abhängig von der übermittelten Information entweder eine

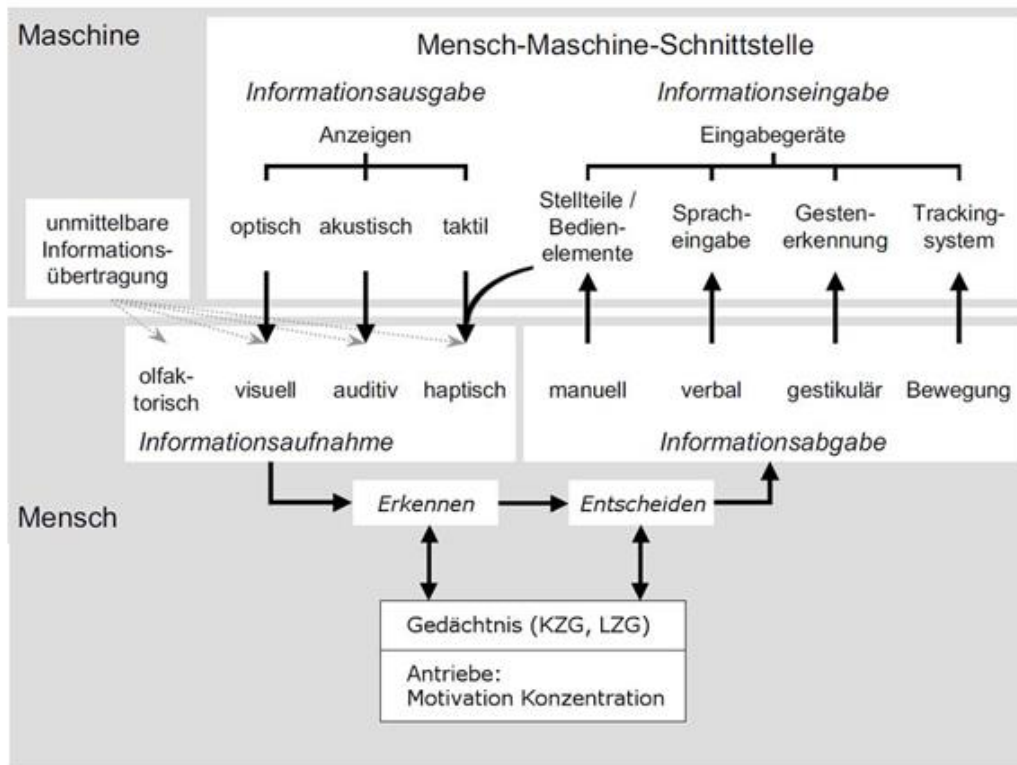


Abbildung 21: Informationsübertragung in Mensch-Maschine-Systemen [SCH10]

auditive oder eine visuelle Darstellung bevorzugt wird (vgl. Abbildung 22). Auditive Anzeigen eignen sich insbesondere für die Informationsausgabe bei kurzen Mitteilungen oder wenn das visuelle System bereits überfrachtet ist [SAN93]. Des Weiteren nehmen Gespräche für Eingaben an das automatisierte System Zeit in Anspruch und sind für nicht zeitkritische Interaktionen geeignet [TER20]. Im Projekt EMMI werden jedoch vertrauensrelevante Fahrsituationen untersucht.

Vorzugsweise auditiv	Vorzugsweise visuell
Einfache Nachrichten	Komplexe Nachrichten
Kurze Nachrichten	Lange Nachrichten
Keine nachträgliche Bezugnahme auf Informationen	Spätere Bezugnahme auf Informationen
Die zeitliche Abfolge der Informationen ist wichtig	Informationen über räumliche Anforderungen sind relevant
Die Nachricht erfordert sofortiges Handeln	Die Nachricht erfordert kein sofortiges Handeln
Das visuelle System ist bereits überlastet	Das auditorische System ist bereits überlastet
Die Umgebung ist zu hell oder zu dunkel (Anpassung ist erforderlich)	Die Umgebung ist zu laut
Die Arbeit erfordert einen ständigen Wechsel des Arbeitsortes	Die Arbeit ermöglicht es der Person, an einen Ort gebunden zu sein

Abbildung 22: Informationen, welche vorzugsweise auditive oder visuell übermittel werden [SAN93]

Gesten zur Übermittlung von Informationen an das System der indirekten Fahrzeugführung wird ebenfalls ausgeschlossen, da NDRAs bei aktiviertem automatisiertem Fahren möglich sein sollten und NDRAs während der Ausübung mit einer potenziellen Gestenerkennung in Konflikt geraten könnten. Des Weiteren besteht das Risiko von Eingabefehlern mit Erkennungsraten von etwa 80 % insbesondere bei Manöviereingaben [FRA12].

Schließlich scheidet auch die Bewegung als Methode der Informationsübergabe aus, da der Fahrer an den Fahrersitz gebunden ist und sich nicht bewegen kann. Aus den angeführten Gründen wird im Folgenden vorrangig die haptische Modalität als Eingabemodalität zur Realisierung der Konzepte zur indirekten Fahrzeugführung berücksichtigt.

### **Exemplarische Umsetzung von Konzepten zur Adaption der definierten Fahrparameter**

Basierend auf der zuvor angeführten Argumentation sind Konzepte zur Interaktion mit dem hochautomatisierten System mittels haptischer Bedienmodalität entwickelt worden. Für die Konzeptentwicklung der haptischen Interaktionskonzepte wurde das Ziel verfolgt, zum einen eine Interaktion über die bereits vorhandenen Stellelemente im Fahrzeug, Lenkrad und Pedalerie, zu ermöglichen und andererseits ein neues, dediziertes Stellelement zur Interaktion mit dem System im Fahrzeug vorzusehen. Als neuartiges Bedienelement wurde ein haptischer Stick mit Force-Feedback (aktive Krafrückstellung) ausgewählt, da dieser speziell durch die Flexibilität der ansteuerbaren Achsen und der rückstellbaren Momente eine flexible Konzeptentwicklung mit haptischem Feedback ermöglicht. Die konkrete Konzeptausgestaltung wird im Folgenden detailliert beschrieben.

Da die manuelle Fahrzeugführung den Lenkradwinkel als primären Eingabeparameter zur lateralen Fahrzeugführung verwendet, verfolgt das vorliegende Konzept, welches auf den primären Stellelementen des Fahrzeugs aufsetzt, einen anderen Ansatz, um die Möglichkeit der auftretenden „Mode-Confusion“ (Irritation/Unwissenheit über die individuelle, aktuelle Verantwortung in der (teil-) automatisierten Fahrt) zu reduzieren. Anstelle des Lenkradwinkels wird das Lenkmoment gemessen und ausgewertet, welches der Nutzende auf das Lenkrad aufprägt. Konkret bedeutet dies, dass das automatisierte System die Lenkradstellung vorgibt und der Nutzer diese auch durch Kraftaufprägung nicht verändern kann. Mittels der Kraftaufprägung kann der Nutzer jedoch eine Eingabe in das System der indirekten Fahrzeugführung vornehmen. Es sind dabei zwei unterschiedliche Konzeptansätze untersucht worden. Grundsätzlich ist in Bezug auf die automatisierte Fahrzeugführung eine Einführung von Steer-by-Wire Systemen im Fahrzeug wahrscheinlich. Hintergrund ist, dass durch die Entkopplung der mechanischen Verbindung zwischen den Rädern und dem Lenkrad während der automatisierten Fahrt zusätzliche Freiheitsgrade entstehen. So kann beispielsweise ein Lenkrad während der automatisierten Fahrt wegeklappt oder verfahren werden, wie es bereits in unterschiedlichen Konzepten gezeigt wurde. Auch kann auf die der Radstellung entsprechenden Stellung des Lenkrads verzichtet werden. In dem Fall ist es möglich, dass das Fahrzeug während der automatisierten Fahrt statisch in der Neutralposition verbleibt. Für das entwickelte Konzept sind grundsätzlich beide Ansätze interessant. Der Vorteil des sich mitbewegenden Lenkrads liegt vorrangig in dem direkten Feedback für den Fahrzeuginsassen zur aktuellen Stellung der Räder. Das statisch in der Neutralposition stehende Fahrzeug kann dahingegen Vorteile in Bezug auf die Interaktion mit dem System der Indirekten Fahrzeugführung haben, da eine gezielte Kraftaufprägung auf das Lenkrad durch die Bewegung des

Lenkrads erschwert werden kann. Aus diesem Grund wurden beide Ansätze für eine Expertenstudie entwickelt und prototypisch umgesetzt, um sie in einem direkten Vergleich zu untersuchen.

Wie bereits anhand der Fahrparameter hergeleitet ergibt sich, dass das System dem Nutzer die Anpassung der aktuellen Fahrspur durch die Aufforderung zum Fahrspurwechsel sowie die Beeinflussung der Positionierung innerhalb der Fahrspur durch die Aufforderung zum exzentrischen Fahren ermöglichen soll. Hinsichtlich der Längsregelung ermöglicht das entwickelte System den Nutzern, die Sollgeschwindigkeit des Fahrzeugs zu parametrieren. Darüber hinaus können die Benutzer dem Fahrzeug befehlen, mit voller Leistung zu beschleunigen (Überholvorgang) oder abzubremesen (durch den Nutzer subjektiv wahrgenommene Gefahrensituation), vorausgesetzt, dass diese Aktionen innerhalb der Sicherheitsgrenzen bleiben. Schließlich gibt das System dem Nutzer auch die Möglichkeit, den Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug einzustellen, analog zu der Abstandparametrierung in modernen adaptiven Geschwindigkeitsregelsystemen.

Zur Interaktion mit dem System muss der Nutzer einen Nutzereingriff auswählen (durch Betätigen des Gas- oder Bremspedals oder durch Kraftaufprägung auf das Lenkrad) und diese Eingabe 1.5 s halten, um eine versehentliche Systemeingabe zu vermeiden. Bezüglich der Befehle zur lateralen Fahrzeugbeeinflussung muss der Nutzer ein Drehmoment auf das Lenkrad aufprägen, um einen der verfügbaren Befehle auszuwählen. Wenn ein Drehmoment zwischen 0,5 und 6,5 Nm aufgebracht wird, wird der Exzentrizitätsbefehl ausgelöst. Wird ein höheres Drehmoment aufgebracht, wird ein Spurwechselbefehl aktiviert. Die Richtung des Querbefehls entspricht der Richtung des aufgetragenen Drehmoments. Bei den Befehlen zur longitudinalen Fahrzeugbeeinflussung kann der Nutzer die Sollgeschwindigkeit des Fahrzeugs durch teilweises Betätigen des Gas- oder Bremspedals in einem Bereich von 2,5 % bis 50 % der Pedalbetätigung einstellen. Die Änderung des Geschwindigkeitsbefehls funktioniert kontinuierlich, ähnlich wie die Geschwindigkeitsanpassung bei ACC-Systemen. Solange der Befehl aktiviert ist, wird die eingestellte Geschwindigkeit entsprechend erhöht oder verringert. Durch weiteres Betätigen des Pedals, von 51% bis 95%, kann der Benutzer den vom Autopiloten eingehaltenen Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen ändern. Wird das Pedal schließlich ganz durchgedrückt (über 95 %), erhält das System den Befehl zum starken Beschleunigen oder Abbremsen. Bei der Beschleunigung mit maximaler Fahrzeugleistung setzt das Fahrzeug diese fort, solange das Pedal vollständig durchgedrückt bleibt. Sobald das Gaspedal losgelassen wird, kehrt die Fahrzeuggeschwindigkeit auf die eingestellte Sollgeschwindigkeit zurück. Umgekehrt funktioniert die harte Verzögerung ähnlich, aber im Gegensatz zur harten Beschleunigung kehrt die Fahrzeuggeschwindigkeit beim Loslassen des Bremspedals nicht auf die vorher eingestellte Geschwindigkeit zurück, sondern die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit wird zur neuen eingestellten Sollgeschwindigkeit. Die Inkonsistenz zwischen den Beschleunigungs- und Bremsingriffen im Konzept dient einer besseren Beherrschbarkeit des Systems und agieren in Analogie zu einem herkömmlichen ACC. Abbildung 23 ist ein Aufbau des Konzeptes zu entnehmen.



Abbildung 23: Exemplarische Umsetzung des Interaktionskonzeptes basierend auf den primären Bedienelementen

Das zweite Interaktionskonzept basierend auf einem haptischen Stick mit Force-Feedback realisiert dieselben Parameteradaptionen der automatisierten Fahrt. Da der Stick als dediziertes Bedienelement für die indirekte Fahrzeugführung an keine Funktionalität während der manuellen Fahrzeugführung geknüpft ist, muss anders als bei dem vorherigen Konzept keine Berücksichtigung potenzieller Konflikte mit bestehenden mentalen Modellen erfolgen. Als Eingabeparameter der Nutzer wird daher die ausgelenkte Wegstrecke verwendet. Zusätzlich wird eine der Wegstrecke entsprechende Rückstellkraft aufgeprägt, um dem Nutzer ein zusätzliches haptisches Feedback über seine aktuelle Eingabe und Auswahl zur Verfügung zu stellen. Das umgesetzte Drehmomentprofil des Sticks ist in Abbildung 24 abgebildet. Das Drehmomentprofil der y-Achse zur Realisierung der longitudinalen Nutzeradaptionen ist analog umgesetzt.

Nach Überwinden des Neutralbereichs ( $\pm 5\%$  der gesamten Wegstrecke) werden in beiden Achsen zwei Arbeitsbereiche abgebildet, welche die lateralen und longitudinalen Nutzeradaptionen abbilden. Ein realisierter Drehmomenten-Sprung zwischen den Arbeitsbereichen ist als haptisches Feedback für den Nutzer wie eine physische Schwelle wahrnehmbar, welche es zur Eingabe des

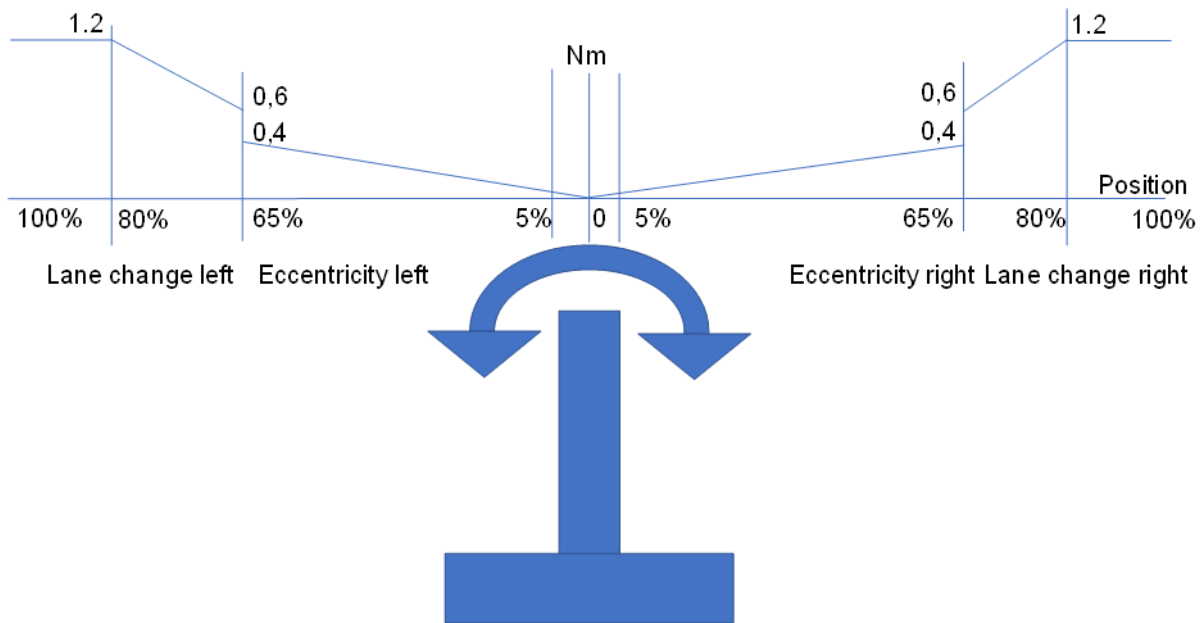


Abbildung 24: Drehmomentprofil des Sticks (hier: laterale Kontrolle - x-Achse)

nächsten Nutzeradaption zu überwinden gilt. Im zweiten Arbeitsbereich wird über ein stark ansteigendes Drehmoment eine Belastung der Hardware an die Systemgrenzen heran vermieden. Die exemplarische Umsetzung des Systems kann Abbildung 25 entnommen werden.



Abbildung 25: Exemplarische Umsetzung des Interaktionskonzeptes basierend auf einem dedizierten Bedienelement

## Expertenbefragung und Ergebnisse

Die Konzeptentwicklung in EMMI basiert auf dem menschenzentrierten Entwicklungsansatz, welcher eine iterative Entwicklung vorsieht. In EMMI wurden die Konzepte hierzu zunächst in Expertenstudien untersucht, bevor sie in einer finalen Evaluation (vgl. AP10) an potenziellen Nutzern untersucht werden. Die Expertenstudien erfolgen dabei im Gegensatz zu der abschließenden Studie mithilfe einer statischen Simulation, da es den Experten eher möglich ist, sich in die entsprechende Verkehrssituation zu versetzen.

### Simulation

Basierend auf den Erkenntnissen des Projektes (AP1 & AP3) wurde eine Auswahl an potenziell vertrauensrelevanten Fahrsituationen getroffen, welche für die Studie im statischen Fahrsimulator abgebildet werden. Auch wenn die aktuelle Studie keine Erhebung von subjektiven Faktoren wie „Vertrauen in die automatisierte Fahrzeugführung“ forciert, sondern der Identifikation von Mängeln und Inkonsistenzen dient, ist der Einsatz in einer potenziell vertrauensrelevanten Simulation aus mehreren Gründen sinnvoll. Zum einen können so speziell in den anvisierten Use-Cases Schwächen und Inkonsistenzen des Systems identifiziert werden. Zum anderen können so die erstellten Simulationen für die abschließende Studie wiederverwendet werden, um einen effizienten Einsatz der Ressourcen zu gewährleisten.

Zusätzlich wurde der Fokus der Simulation auf Szenarien auf der Autobahn gelegt. Der Grund hierfür ist, dass nach aktuellem Stand der Technik ein Einsatz von hochautomatisierten Systemen des Level 3 bis 4 zunächst auf der Autobahn zu erwarten ist. Ein potenzieller Einsatz der entwickelten Systeme ist dennoch uneingeschränkt im urbanen Raum denkbar. Die folgenden 5 Szenarien wurden für die Studie als statische Simulation erstellt:

1. Baustellen bzw. geparkte Einsatzfahrzeuge (Standstreifen): Verengung der Ego-Fahrspur
2. Exzentrizität andere Verkehrsteilnehmer: Verengung der Ego-Fahrspur
3. Einschermanöver eines anderen Fahrzeugs: Starke Reduktion der Ego-Geschwindigkeit
4. Drängler: Stark reduzierte Distanz zum nachfolgenden Fahrzeug
5. Langsames vorausfahrendes Fahrzeug: Möglichkeit, die longitudinalen Eingaben des Systems zu testen

Zu beachten ist, dass es sich bei dem letzten genannten Szenario nicht um einen vertrauensrelevanten Fahrzustand handelt. Dieser dient lediglich einer optionalen ausgiebigen Erprobung der Eingabeoptionen des Systems.

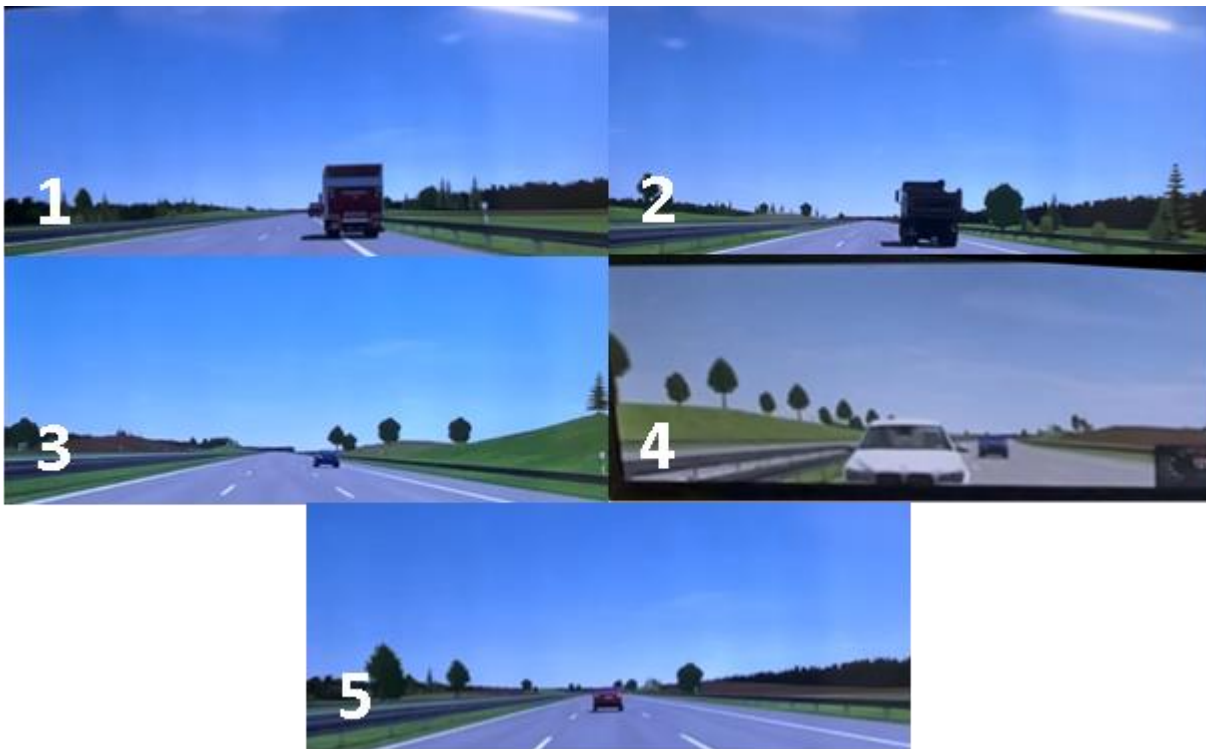


Abbildung 26: Simulierte Szenarien der Studie

### **Ergebnisse**

Nach ihrer ersten Erfahrung mit dem System äußerte sich die Mehrheit der Nutzer positiv gegenüber dem System. Das System wurde auch als intuitiv empfunden, nur ein Teilnehmer äußerte die gegenteilige Meinung, dass er mit den möglichen Funktionen des Systems überfordert sei. Letztendlich stimmten die Teilnehmer gemeinsam der Annahme zu, dass die Leistung des Systems ihren Erwartungen vor dem Test entsprach. Wesentlich ist, dass fast die Hälfte der Teilnehmer die Ansicht vertrat, dass eine weitere Verfeinerung des Systems unerlässlich ist. Somit kann gesagt werden, dass diese notwendige Studie zur Identifikation von Mängeln und Inkonsistenzen ihren Zweck erfüllt hat.

Zu den identifizierten Mängeln bzw. Schwächen des Systems zählen unter anderem die definierten Schwellwerte sowohl des Lenkrads als auch der Pedale. Diese wurden in einem breiten Konsens als zu hoch empfunden, was eine komfortable Bedienung des Interaktionskonzeptes erschwerte. Zusätzlich wurde eine Anpassung des visuellen Feedbacks gefordert, welches die Schwellwerte der Übergabe in einer kontinuierlichen Kraftmessung (bzw. Wegmessung für die Pedalerie) darstellt, um ein besseres Verständnis zu generieren, wo man sich aktuell auf der Gesamtskala der aufzuwendenden Kräfte befindet. Darüber hinaus ist die Übergabedauer von 1,5 Sekunden zwischen Auswahl einer Adaption und Annahme der Adaption durch das System als unangemessen lang empfunden worden. Eine Reduktion der Auswahlzeit ist hier empfehlenswert. Zusätzlich wurden auch Umsetzungen der Simulation bemängelt. So reagiert der Autopilot zeitverzögert auf die übergebene Eingabe. Diese Zeit wurde ebenso als zu lang bewertet. Zusätzlich fehlt es an visuellem Feedback, welches verdeutlicht, dass die Eingabe noch umgesetzt wird. Im vorliegenden Fall wurde die Annahme der Eingabe visuell bestätigt, die Bestätigung verschwand aber direkt und

noch bevor diese von der Simulation umgesetzt wurde. Hier wird von den Testpersonen nahegelegt, dieses Feedback bis zur erfolgreichen Umsetzung der Eingabe aktiv zu lassen. Einige weitere Mängel ergeben sich aus der Zusammenarbeit des umgesetzten Systems und des Autopiloten des ika. Diese sollen an dieser Stelle nicht weiter beleuchtet werden, da die Anpassung des Autopiloten nicht im Fokus des vorliegenden APs liegt. Dennoch ist zu betonen, dass auch diese Mängel im Anschluss an die Studie bearbeitet werden.

Bzgl. der zugrundeliegenden Interaktionslogik mit der Auswahl an anzupassenden Fahrparametern war das Kollektiv an Testperson einverstanden. Bzgl. der longitudinalen Eingabe gab es jedoch Einwände gegen die Umsetzung dreier unterschiedlicher Parameter. Speziell die Tatsache, dass die Parameter sich gegenseitig bedingen, hat hier zu Irritation geführt. Es wurde daher eine Konsolidierung der umgesetzten Fahrparameter geraten. Im Folgenden wird das Konzept daher entsprechend angepasst. Konkret werden die ersten beiden Schwellwerte (Geschwindigkeit und Folgeabstand zum Vorderfahrzeug) zusammengelegt, da diese nicht unabhängig voneinander geregelt werden können. Nach aktueller Planung soll der erste Schwellwert der longitudinalen Eingabe somit situationsadaptiv gestaltet werden. Konkret bedeutet dies, dass über die Eingabe somit der aktuell geregelte Parameter beeinflusst werden kann. Befindet sich also ein Fahrzeug vor dem Ego-Fahrzeug, sodass die aktuelle Soll-Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs zum Erhalt des Folgeabstands reduziert wird, kann über den ersten Schwellwert der longitudinalen Eingabe der Folgeabstand des Ego-Fahrzeugs beeinflusst werden. Befindet sich hingegen kein Fahrzeug vor dem Ego-Fahrzeug, oder ist dieses weit genug entfernt, sodass das Ego-Fahrzeug die aktuell eingestellte Soll-Geschwindigkeit effektiv fahren kann, so kann über den ersten Schwellwert der longitudinalen Eingabe die Soll-Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs beeinflusst werden.

Ein weiterer wesentlicher Punkt, der durch die Probanden tendenziell eher negativ bewertet wurde, ist die Nutzung der Pedale als Eingabeelement der longitudinalen Anpassungen. Neben der bereits aufgeführten Irritation über die bereitgestellten Anpassungen (basierend auf der Querbeeinflussung der Geschwindigkeitsadaption und der Beeinflussung des Folgeabstandes) wurde des Öfteren der Vorschlag geäußert, ein alternatives Eingabekonzept zu verwenden. Als Beispiel wurde diesbezüglich mehrfach das Interaktionskonzept eines gängigen ACC-Systems aufgeführt, welches auf Knöpfen oder Schaltern am Lenkrad aufsetzt, um die entsprechenden Parameter des Fahrerassistenzsystems zu beeinflussen. Die Ergebnisse der finalen Evaluation sind in AP 10 dokumentiert.

## **2.6 AP 10: Aufbau der MMI Prototypen und Evaluation**

Das AP10 beinhaltet die Entwicklung sowie den Aufbau der notwendigen Hardware, um die Evaluierung der innerhalb des AP5 bis AP9 entwickelten Konzepte durchzuführen. Darüber hinaus beinhaltet AP10 ebenso die Evaluierung der Systeme selbst.

Insgesamt wurden innerhalb des Projektes in AP10 verschiedene Evaluationsumgebungen entwickelt und aufgebaut. In einem ersten Schritt wurde eine virtuelle Testumgebung entwickelt, um vorrangig die Anzeigekonzepte des AP9 zu evaluieren. In einem nächsten Schritt ist der HMI-Prüfstand aufgebaut worden, in welchem sowohl die Visualisierung- als auch die Bedienkonzepte des AP9 entwickelt und erprobt werden konnte. In einem letzten Schritt ist auch der Mock-Up Aufbau des finalen Demonstrators in diesem AP koordiniert worden. Eine Übersicht der entwickelten und aufgebauten Evaluationsumgebungen ist Abbildung 27 zu entnehmen.

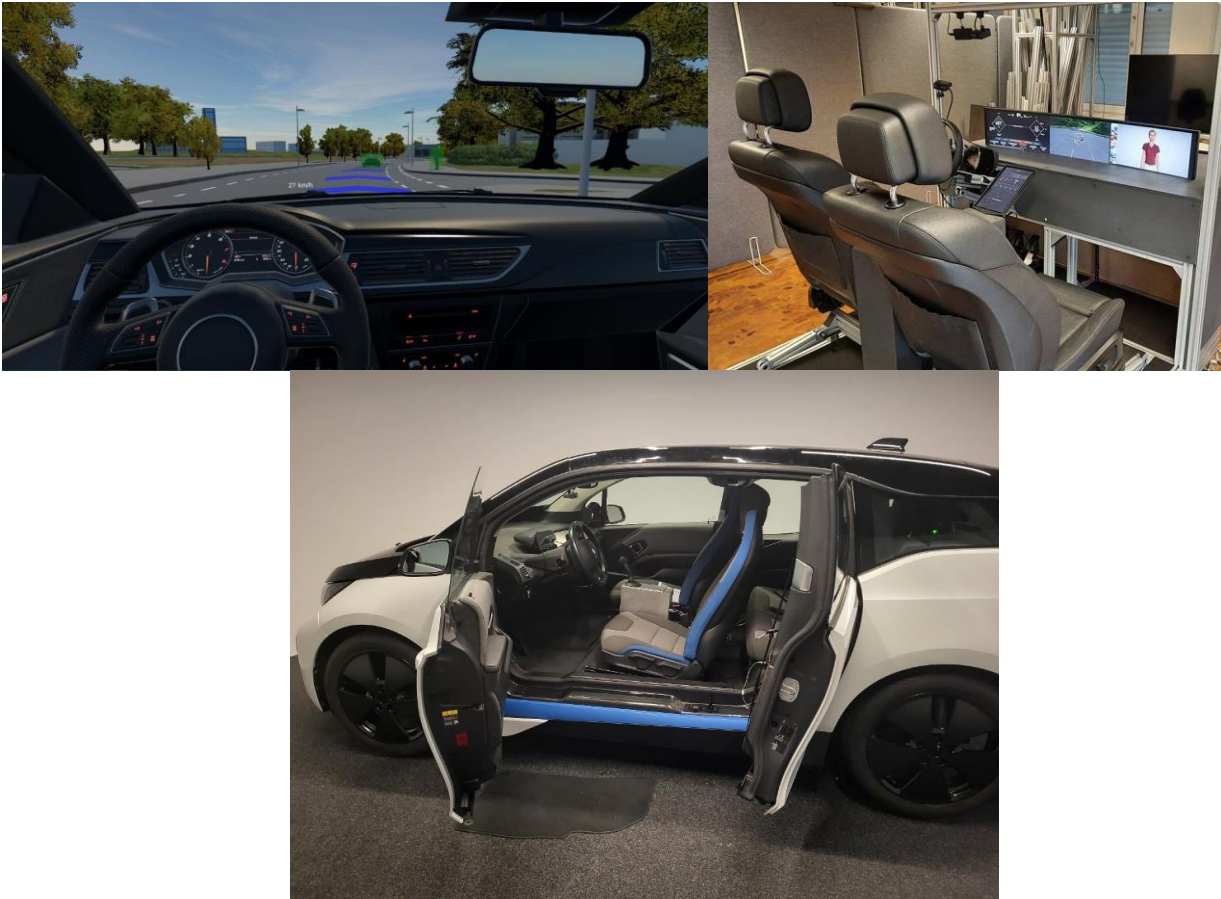


Abbildung 27: In EMMI aufgebaute Entwicklungs- und Evaluationsumgebungen

## Evaluation der MMI Prototypen

### Methode und Durchführung

#### *Forschungsfragen*

Zur Evaluation der MMI-Prototypen sollte zum einen explorativ untersucht werden, welchen Einfluss unterschiedliche MMI-Konzepte in Bezug auf User Experience, Vertrauen und ausgewählter Akzeptanzdimensionen (Nutzungsintention, wahrgenommene Sicherheit, Anxiety) haben.

Zum anderen wurde der in der Realfahrtstudie (AP3.2) gefundene Mediationseffekt zwischen Vertrauen über wahrgenommener Sicherheit auf die Nutzungsintention überprüft.

Darüber hinaus wurde explorativ der Einfluss der indirekten Fahrzeugführung auf die Mode Confusion und dem Gefühl der Einflussnahme auf die automatisierte Fahrt und der Notwendigkeit des Überwachens der Fahraufgabe erfasst.

#### *Versuchsdesign*

Die unabhängige Variable stellt im Versuch das MMI-Konzept dar, wobei es drei verschiedene MMI-Bedingungen und eine Baseline gab. Zum einen wurde die indirekte Fahrzeugsteuerung über ein konventionelles Lenkrad bzw. einen Joystick variiert. In einer weiteren Experimentalbedingung

wurde eine Visualisierung von Fahrzeugdaten evaluiert. Zudem gab es eine Baseline-Bedingung, in der weder eine Visualisierung von Fahrzeugdaten erfolgte, noch ein Eingabewunsch über Lenkrad oder Joystick während der automatisierten Fahrt möglich war.

Im Rahmen der Simulatorstudie wurden verschiedene abhängige Variablen in Form von Subjektivdaten erfasst. Hierzu zählen das Ver- und Misstrauen in das automatisierte System nach der Fahrt (Trust in Automation Scale; JIA00) und die Technikakzeptanz nach der Fahrt hinsichtlich der Subskalen Anxiety, Wahrgenommene Sicherheit und Nutzungsintention (Autonomous Vehicle Acceptance Model; HEW19) sowie die User Experience (User Experience Questionnaire, LAU08). Zudem wurden Items zur Erfassung von Mode Confusion und der Notwendigkeit des Überwachens der Fahraufgabe erstellt.

Um Hinweise auf Veränderungen im subjektiv wahrgenommenen Ver- und Misstrauen während der Simulation erfassen zu können, wurden an verschiedenen festgelegten Stellen entlang der Strecke Kurzabfragen hinsichtlich des grade eben erlebten Miss- und Vertrauen gemacht. Hierzu erfolgten Angaben auf einer siebenstufigen Likert-Skala (1 sehr gering bis 7 sehr hoch).

### *Beschreibung des Versuchsablaufs*

Insgesamt dauert eine Testung pro Teilnehmer\*in 180 Minuten. Zunächst wurden die Teilnehmenden empfangen und erhielten Unterlagen zu Probandeninformation, Verschwiegenheitserklärung, Datenschutzvereinbarung, Einwilligungserklärung für Bild- und Tonaufnahmen. Anschließend füllten die Teilnehmenden die Vorbefragung aus. Diese umfasste einen Fragebogen zur Demografie, Mobilitätsverhalten und praktischen Erfahrungen im Bereich automatisierter Systeme. Danach erfolgte das Anlegen des Brustgurts und der Instruktion in das weitere Vorgehen der Studie, wobei insbesondere der Ablauf und die Aufgabe erklärt wurden. Es folgte danach eine Einführung in den hochdynamischen Fahrsimulator, wobei die Sitzeinstellung angepasst werden konnte und das Mikrofon angelegt wurde. Zudem erfolgte die Kalibrierung des Kamerasystems. Folgend befuhren die Teilnehmenden eine Einführungsfahrt, um sich an den hochdynamischen Fahrsimulator zu gewöhnen. Danach erfolgten die vier Versuchsfahrten, wobei die Reihenfolge der MMI-Bedingungen randomisiert wurde. Vor den Bedingungen indirekte Fahrzeugführung mit Lenkrad bzw. mit Joystick erfolgte eine kurze Warm-up-Fahrt, damit sich die Teilnehmenden mit der Bedienung zur indirekten Fahrzeugführung vertraut machen konnten. Während der einzelnen Fahrten durchliefen die Teilnehmenden die verschiedenen vertrauskritischen Fahrsituationen. Hierzu zählen eine Baustelle, das Überholen eines LKWs mit lateraler Abweichung von der Fahrbahnmitte, ein Fahrzeug, welches kurz vor dem Ego-Fahrzeug einschert und ein Abbremsen erzwingt, ein Drängler, der mit geringem Abstand auffährt, sowie eine Autobahnabfahrt, die einen Fahrbahnwechsel notwendig macht.

Nach jeder Fahrsituation erfolgte eine situationsspezifische Kurzabfrage zu Vertrauen, Misstrauen und Änderungswünschen. Nach jeder Fahrt erfolgte eine Nachbefragung zu der jeweiligen MMI-Bedingung hinsichtlich Mode Confusion, User Experience, Vertrauen, Misstrauen und den Akzeptanzdimensionen. Nach dem Absolvieren aller vier Versuchsfahrten erfolgte eine kurze abschließende Befragung zur Bewertung der Konzepte.

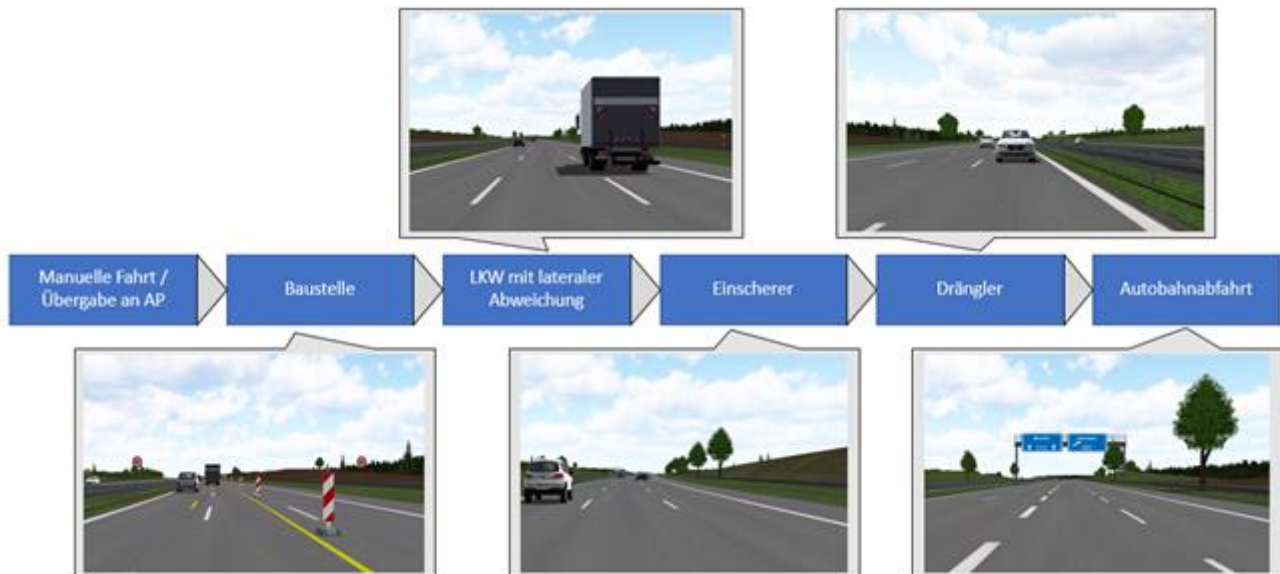


Abbildung 28: Reihenfolge der vertrauenskritischen Fahrsituationen im hochdynamischen Fahrsimulator

### Stichprobenbeschreibung

Die Durchführung der Studie erfolgte im November und Dezember 2023. Insgesamt haben  $N = 28$  Proband\*innen teilgenommen, davon waren  $n = 12$  weiblich und  $n = 16$  männlich. Das Alter reichte von 18 bis 66 Jahren ( $M = 38.79$ ,  $SD = 14.66$ ). Alle Teilnehmer\*innen verfügten über einen Führerschein der Klasse B. Die Mehrheit der Teilnehmer\*innen hatte keine theoretischen ( $n = 19$ ) oder praktischen ( $n = 21$ ) Vorkenntnisse im Bereich automatisierter Systeme.

### Ergebnisse

Die inferenzstatistischen Ergebnisse (stat. Test: einfaktorielle MANOVAs mit Messwiederholung) zeigen, dass sich die Technikakzeptanzdimensionen Anxiety, wahrgenommene Sicherheit und Nutzungsintention weder zwischen der Baseline und der Blackprint-Bedingung noch zwischen Baseline, Joystick und Lenkrad-Bedingung signifikant unterscheiden. Auch in Hinblick auf das Misstrauens- und Vertrauensrating sowie die User Experience Dimensionen unterscheiden sich weder Baseline und Blackprint-Bedingung noch Baseline, Joystick und Lenkrad inferenzstatistisch voneinander (stat. Test: einfaktorielle MANOVAs mit Messwiederholung).

Mehr als die Hälfte der Proband\*innen gab an, die Nutzung des Lenkrads vorzuziehen und begründeten dies vor allem mit der Gewohnheit und Intuitivität der Bedienung. Proband\*innen, die den Joystick für Eingabewünsche bzgl. der Fahrweise favorisieren, begründeten dies vor allem mit der präziseren und einfacheren Steuerung im Vergleich zum Lenkrad.

Fast alle Proband\*innen würden das Blackprint-Display während einer automatisierten Fahrt nutzen. Dabei nannten die Proband\*innen vor allem die Unterstützung durch das HMI-Konzept und den Mehrwert des Informationsgehalts. Des Weiteren wurde die Umsetzung des Blackprint-Displays positiv hervorgehoben („übersichtlich“, „angenehm“, „schön“). Zudem steigere das Display das Vertrauen sowie das Sicherheitsempfinden.

Auf dem deskriptiven Level zeigt sich in den Bedingungen Baseline und Blackprint, in denen jeweils keine indirekte Fahrzeugführung möglich war, weniger mode confusion als in den Bedingungen Lenkrad und Joystick. Mit der indirekten Fahrzeugführung ist das Gefühl, Einfluss auf die Fahraufgabe nehmen zu können, signifikant stärker ausgeprägt als in der Baseline-Bedingung ohne Eingabemöglichkeit,  $F(1.49, 29.78) = 23.60, p < .001$  (ANOVA mit Messwiederholung). Hinsichtlich des Gefühls, die Fahraufgabe überwachen zu müssen, zeigt sich inferenzstatistisch kein Unterschied zwischen Baseline und Blackprint-Bedingung.

Die Überprüfung des Zusammenhangs von Vertrauen, wahrgenommener Sicherheit und der Nutzungsintention mittels Mediationsanalyse zeigt – wie auch die Ergebnisse der Realfahrtstudie – dass das Vertrauen einen signifikanten Einfluss auf die wahrgenommene Sicherheit und die wahrgenommene Sicherheit wiederum einen signifikanten Einfluss auf die Nutzungsintention hat. Es gibt keinen direkten Einfluss von Vertrauen auf die Nutzungsintention. Somit konnte das Ergebnis aus der Realfahrtstudie repliziert werden.

### **Diskussion der Ergebnisse der Simulatorstudie**

Allgemein zeigt sich in Bezug auf die abhängigen Variablen User Experience, Vertrauen und der Akzeptanzdimensionen keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zwischen den MMI-Konzepten und im Vergleich zur Baseline-Bedingung. Die MMI-Konzepte führen somit zu keiner Verbesserung der User Experience, dem Vertrauen in das automatisierte System und haben keinen Einfluss auf die Akzeptanzdimensionen Nutzungsintention, Wahrgenommene Sicherheit und Anxiety. Grundsätzlich kann aber festgehalten werden, dass das Blackprint-Display aufgrund seines Informationsgehalts von fast allen Teilnehmer\*innen genutzt werden würde. Dies deckt sich auch mit den qualitativen Ergebnissen aus der Realfahrtstudie, in denen genannt wurde, dass Informationen über den Fahrzeugzustand und die Sensorik wünschenswert seien, um die Transparenz des Systems zu erhöhen. Interessanterweise ist jedoch die Ausprägung der Akzeptanzdimension Nutzungsintention für das Blackprint-Display nicht signifikant höher als in der Baseline-Bedingung. In Bezug auf die indirekte Fahrzeugsteuerung ist es möglich, dass ein Deckeneffekt den potenziell positiven Effekt verdeckt hat. In dieser Studie zeigte sich der Faktor das Vertrauen allgemein mit einer hohen Ausprägung.

Bei den evaluierten MMI-Konzepten handelte es sich um Prototypen. Es ist möglich, dass eine Optimierung der Prototypen zu einer Verbesserung der User Experience führen könnte. Auffällig ist, dass die Studienergebnisse allgemein hohe Vertrauens- und niedrige Misstrauensratings während der Versuchsfahrt aufweisen. Diese Ergebnisse sind ähnlich zu jenen der Realfahrtstudie, in welchen ein allgemein niedriges Misstrauens- sowie hohes Vertrauensrating und wenig Varianz zwischen Fahrsituationen zu beobachten war. Wie auch in der Realfahrtstudie können diese Ergebnisse vor dem Hintergrund des Versuchsdesigns diskutiert werden. Da der Versuch in einem sicheren Setting (Fahrsimulator) stattgefunden hat und zu keinem Zeitpunkt eine reale Gefahr bestand, könnte das Vertrauensrating höher ausfallen. Ggf. hätte die Kritikalität der ausgewählten Verkehrssituationen noch stärker ausgeprägt sein können, sodass mehr Varianz in den Daten erzeugt worden wäre. Es ist möglich, dass dadurch auch eine potenziell vorhandene, aber im Rahmen der Simulatorstudie nicht aufdeckbare Varianz in den unterschiedlichen Formen der indirekten Fahrzeugsteuerung sichtbar werden würde.

Allgemein deuten die Ergebnisse aus Realfahrt- und Simulatorstudie darauf hin, dass insbesondere der Faktor der wahrgenommenen Sicherheit im Kontext automatisiertes Fahren einen bedeutsamen Einfluss auf die Nutzungsintention hat.

### **3 Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Im Folgenden wird auf die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises eingegangen.

Die wichtigste Position des zahlenmäßigen Nachweises stellen die Personalmittel dar. Hierunter fallen die Tätigkeiten der beteiligten Wissenschaftler, der nicht wissenschaftlichen Angestellten und Techniker sowie der beteiligten studentischen Mitarbeiter zusammen. Aufgrund der hohen Komplexität der dem Projekt zugrundeliegenden Fragestellung, der Vielzahl der geplanten und realisierten Hardwareaufbauten (Versuchsfahrzeug, HMI-Prüfstand, Mock-Up etc.) sowie der Interdisziplinarität der Fragestellung waren am ika eine Vielzahl von Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen aus 3 verschiedenen Forschungsbereichen (HMI, Verkehrspsychologie, Simulation) beteiligt. Zudem wurden die Kollegen maßgeblich von der Mitarbeit der Kollegen der unterschiedlichen Werkstätten (Messtechnik, Kfz-Werkstatt, mechanische Werkstatt) unterstützt. Ohne die Unterstützung der verschiedenen Kollegen und Kolleginnen, der Werkstätten und Studierenden wäre die Projektdurchführung nicht in dem erfolgten Maße möglich gewesen. Die Erreichung aller Projektziele ist der Beteiligung der Kollegen und Kolleginnen zuzuschreiben.

Bzgl. der Sachkosten stellt die wichtigste zahlenmäßige Position das Wizard-of-Oz Fahrzeug dar (Vergabe von Aufträgen). Das Fahrzeug wurde im Kontext des Projektes entwickelt, in Kooperation mit den Zulassungs- und Zertifizierungsinstanzen aufgebaut und zugelassen. Das Versuchsfahrzeug hat durch die Ergebnisse der Realfahrtstudie, welche ohne das Fahrzeug nicht möglich gewesen wäre, im Wesentlichen zu der Güte der Projektergebnisse beigetragen. Durch den wirtschaftlichen und gezielten Einsatz der zur Verfügung stehenden Mittel konnte ein Versuchsfahrzeug aufgebaut werden, welches in Deutschland in vergleichbarer Form nur wenige Male existiert und durch die umfassende Zulassung des Fahrzeugs existierende Fahrzeuge zumeist übertrifft. Das Fahrzeug ist bereits für die weitere Verwendung in öffentlichen Forschungsprojekten am Institut eingeplant.

Ein weiterer wesentlicher Punkt des zahlenmäßigen Nachweises stellt der Force-Feedback Joystick der Firma SensoDrive GmbH dar. Der Stick ist innerhalb des AP9 und 10 für die Entwicklung und Evaluierung des Systems zur indirekten Fahrzeugführung zum Einsatz gekommen. Gegenstand der Untersuchung war die Fragestellung, ob ein dediziertes, in bisherigen Fahrzeugen nicht vorhandenes dediziertes Bedienelement geeignet ist, um die Interaktion mit der indirekten Fahrzeugführung zu realisieren. Anhand einer eingehenden Marktrecherche konnte identifiziert werden, dass es neben der Firma SensoDrive keinen weiteren Anbieter eines konkurrenzfähigen Produktes gibt. Die Beschaffung des Sticks bot durch die verwendete Software, welche sich in die Simulations- und Testtoolchain des Instituts einbinden ließ, viele Vorteile, die bei einer Neuerarbeitung eines dedizierten Bedienelementes durch enormen Einsatz von Mitarbeiterkapazitäten hätte kompensiert werden müssen. Dies hätte insgesamt zu einer unwirtschaftlicheren Situation geführt, vor allem durch die entstehenden zeitlichen Aufwände.

Der beschaffte Accelerometer der Firma Moog wurde in den hochdynamischen Fahrsimulator des Instituts für die abschließende Studiendurchführung und vorherige Entwicklungsfahrten eingebaut.

Es handelt sich bei dem Hochleistungssensor um ein essenzielles Bauteil, ohne welches eine Durchführung der abschließenden Studie in der realisierten Güte nicht möglich gewesen wäre. Speziell vor dem Hintergrund potenziell überdeckender Einflüsse, beispielsweise der Simulator-Krankheit (engl. simulator sickness), ist eine hochgenaue Abstimmung des Simulators unerlässlich. Aus diesem Grund konnte auf die Beschaffung des Sensors nicht verzichtet werden.

Ein weiterer wesentlicher Punkt des zahlenmäßigen Nachweises ist der Eyetracker der Firma Tobii Pro AB. Der Eyetracker wurde für die Realfahrstudie zur Analyse der vertrauensrelevanten Einflussfaktoren der entsprechenden Szenarien verwandt. Es ist ein Leistungs- und Preisvergleich der marktverfügbaren Eyetracker erfolgt und entsprechend den Regularien der Vergabeordnung beschafft worden. Aufgrund der hohen Komplexität des Konstruktes Vertrauen sind möglichst viele Objektiv- und Subjektivfaktoren im Zuge der Studie erhoben worden, um mögliche Zusammenhänge und Rückschlüsse auf das zu untersuchende Konstrukt zu ermöglichen.

Abschließend sind unter den Positionen des zahlenmäßigen Nachweises auch die Mittel zur Studiendurchführung anzuführen. Unter diesen Kosten laufen die Recruiting-Kosten, die Incentivierungskosten der Probanden sowie die Kosten der notwendigen Ethikanträge zusammen. Die Evaluierung mithilfe potenzieller Nutzer stellt den Kern des menschenzentrierten Entwicklungsansatzes dar. Um ein gezieltes Probandenkollektiv abbilden zu können, ist die Beauftragung eines Recruiters unerlässlich. Ein definiertes Probandenkollektiv wiederum hat einen essenziellen Einfluss auf die Ergebnisqualität sowie die Aussagekraft der Ergebnisse. Die für diese Position aufgewendeten Mittel haben somit im Wesentlichen zur Ergebniserreichung und -güte beigetragen.

#### 4 Verwertungsplan (Fortschreibung)

Wie in dem Verwertungsplan der GVB beschrieben, wurden innerhalb des EMMI-Projektes eine Vielzahl von Bachelor- und Masterarbeiten betreut. So konnten innerhalb der Konzeptentwicklungen den AP6 und AP9 7 studentischen Arbeiten zum Erfolg der APs beitragen. Auf diesem Weg hat das EMMI-Projekt einen direkten Einfluss auf die wissenschaftliche Ausbildung der Studierenden. Darüber hinaus werden die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes bereits in Vorlesungsinhalten des Instituts vorgestellt, sodass ein direkter Einfluss auf die Lehrgestaltung des ikas erfolgt. In der Veranstaltung „Strategies in the Automotive Industry“ wird unter dem Themenfeld „Human-Machine Interaction“ sowohl der Entwicklungsansatz des Projektes zur Veranschaulichung des menschenzentrierten Entwicklungsansatzes vorgestellt, als auch die entwickelte Evaluationstoolchain bestehend aus virtueller Evaluation, dem HMI-Prüfstand und dem Mock-Up für Versuche im hochdynamischen Fahrsimulator des ikas gezeigt. Eine Vorstellung der Ergebnisse hat zudem Einzug in das Themenfeld „Automated Driving & ADAS“ derselben Veranstaltung erhalten. Zudem befindet sich am ika gerade eine Vorlesung zum Thema „*Development of automotive HMI*“ im Aufbau, in welcher die Ergebnisse und Erkenntnisse des EMMI-Projektes ebenso Einzug in die studentische Ausbildung erhalten. Darüber hinaus konnten die Ergebnisse und Lösungsansätze des Projektes auf verschiedenen Konferenzen, Vorträgen und Fachbeiträgen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden (vgl. Kapitel 6). Abschließend sind im Kontext des Projektes Ergebnisse erarbeitet wurden, welche im Wesentlichen zu der Erstellung dreier Doktorarbeiten von wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts beitragen.

## 5 Ergebnisse von dritter Stelle

Seitens des ika liegen zum Abschluss des Projektes EMMI keine relevanten Ergebnisse dritter Stelle vor, welche die Durchführung des Projektes beeinflussen.

## 6 Veröffentlichungen

Relevante Veröffentlichungen des ika im Kontext des Projektes EMMI:

Dautzenberg, P. S. C., Voß, G. M. I., Ruß, F., Oetermann, T., Brockmeier, C., Ladwig, S., & Eckstein, L. (2021). Identification and evaluation of trust-relevant driving situation factors for automated driving (SAE Level4/5). Proceedings of 30th Aachen Colloquium Sustainable Mobility 2021, Aachen, 04. – 06.10.2021

Dautzenberg, P. S. C. & Voß, G. M. I. (2021). A theoretical framework for trust in automation considering its relationship to technology acceptance and its influencing factors. Proceedings of the 13th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2022)

Oetermann, T., Dautzenberg, P., Voß, G., Brockmeier, C., Ladwig, D., Gebhard, P., Schneeberger, T., Funk, M., Brueckner, R., Schäfer, F., Helff, N., Gomer, A. & Eckstein, P. (2022). EMMI: Empathic Human-Machine Interaction for Establishing Trust in Automated Driving. arXiv preprint arXiv:2204.06377

Oetermann, T., Wirtz, L. (2022). Innovatives Untersuchungswerkzeug im Kontext automatisierten Fahrens: das Wizard-of-Oz Fahrzeug. Innocam.NRW Blogbeitrag (8. November 2022).

Oetermann, T., Wirtz, L., Thirunavukkarasu, D. u. Eckstein, L.: Forschungsfahrzeug zur Entwicklung von HMI bei automatisiertem Fahren. ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift 125 (2023) 4, S. 50–53

Klatt, M., Oetermann, T., Wirtz, L., Ladwig, S.: Zusammenhang von Vertrauen in Automation und Technikakzeptanz im Anwendungsfall Automatisiertes Fahren. 18. Dortmunder AutoTag 2023.

## 7 Literatur

[BAC95] BACHOROWSKI, J. A. & OWREN, M. J. Vocal expression of emotion: Acoustic properties of speech are associated with emotional intensity and context. *Psychological Science*, 6(4), S. 219–224, 1995

[BRA19] BRANSTROM, C., JEONG, H., PARK, J., LEE, B.-C. & PARK, J. Relationships between physiological signals and stress levels in the case of automated technology failure. *Human-Intelligent Systems Integration*, 1, S. 43–51, 2019

[BEG15] BEGGIATO, M., HARTWICH, F., SCHLEINITZ, K., KREMS, J., OTHERSEN, I., PETERMANN-STOCK, I. What would drivers like to know during automated driving? Information needs at different levels of automation. 2015

[BEG20] BEGGIATO, M., HARTWICH, F., ROSSNER, P., DETTMANN, A., ENHUBER, S., PECH, T., GESMANN-NUISSL, D., MÖSSNER, K., BULLINGER, A. C. & KREMS, J. KomfoPilot – Comfortable automated driving. *Smart Automotive Mobility*, S. 71–154, 2020

- [BEN19] Bengler, K., Omozik, K., Müller, A. I. The Renaissance of Wizard of Oz (WoOz) – Using the WoOz methodology to prototype automated vehicles Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2019 Annual Conference, S. 63–72 (2019)
- [CHO15] Choi, J.K., and Ji, Y.G. (2015), “Investigating the importance of trust on adopting an autonomous vehicle.” *International Journal of Human-Computer Interaction*, 31(10), 692–702.
- [DAV89] DAVIS, F. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly* 13 (3), S. 319-340, 1989
- [DEU62] DEUTSCH, M. Cooperation and trust: Some theoretical notes Nebraska Symposium on Motivation, S. 275–320, 1962
- [DIE17] DIELS, C., THOMPSON, S. Information Expectations in Highly and Fully Automated Vehicles In: Stanton, Neville A. (Hrsg.): *Advances in Human Aspects of Transportation. Proceedings of the AHFE 2017 International Conference on Human Factors in Transportation, July 17–21, 2017, The Westin Bonaventure Hotel, Los Angeles, California, USA (Reihe: Advances in Intelligent Systems and Computing Ser. v.597)* Springer International Publishing, Cham: 2017, S. 742–748
- [ELK13] ELKINS, A. C. & DERRICK, D. C. The sound of trust: Voice as a measurement of trust during interaction with embodied conversational agents *Group Decision and Negotiation*, 22, S. 897–913, 2013
- [EUR08] EUROPEAN COMMUNITIES COMMISSION, HMI TASK FORCE European statement of principles on human machine interface for in-vehicle information and communication systems Technical report, 2008
- [FAS07] Fastenmeier, W., & Gstalter, H. (2007). Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice. *Safety Science*, 45(9), 952-979.
- [FEI19] FEIERLE, A., BELLER, D., BENGLER, K. Head-Up Displays in Urban Partially Automated Driving: Effects of Using Augmented Reality \*. *The 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference - ITSC*, 2019
- [FEI21] FEIERLE, A., SCHLICHTHERLE, F., BENGLER, K. Augmented Reality Head-Up Display: A Visual Support During Malfunctions in Partially Automated Driving? *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.*, S. 1–13, 2021
- [FRA12] FRANZ, B., KAUER, M., BLANKE, A., SCHREIBER, M., BRUDER, R. & GEYER, S. Comparison of two human-machine interfaces for cooperative maneuver-based driving *Work*, 41 (Supplement 1), pp. 4192-4199, 2012
- [FRA91] Fraser, N. M., Gilbert, G. Simulating speech systems *Computer Speech & Language*, Heft 1, S. 81–99 (1991)
- [GEY13] Geyer, S., Baltzer, M., Franz, B., Hakuli, S., Kauer, M., Kienle, M., ... & Flemisch, F. (2013). Concept and development of a unified ontology for generating test and use-case catalogues for assisted and automated vehicle guidance. *IET Intelligent Transport Systems*, 8 (3), 183-189.
- [GHA12a] Ghazizadeh, M., Lee, J.D., and Boyle, L.N. (2012a), “Extending the technology acceptance model to assess automation.” *Cognition, Technology & Work*, 14(1), 39–49.

- [GHA12b] Ghazizadeh, M., Peng, Y., Lee, J.D., and Boyle, L.N. (2012b), "Augmenting the technology acceptance model with trust: Commercial drivers' attitudes towards monitoring and feedback." Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 56(1), 2286–2290.
- [GOL15] GOLD, C., KÖRBER, M., HOHENBERGER, C., LECHNER, D. & BENGLER, K. Trust in Automation – Before and After the Experience of Take-over Scenarios in a Highly Automated Vehicle. *Procedia Manufacturing*, 3, S. 3025–3032, 2015
- [HAR15] HARTWICH, F., BEGGIATO, M., DETTMANN, A. & KREMS, J. F. Customized Automated Driving Styles for Younger and Older Drivers. *VDI Bericht 2264*, S. 271–283, 2015
- [HAB17] HABIBOVIC, A., ANDERSSON, J., NILSSON, J., NILSSON, M., EDGREN, C. Command-Based Driving for Tactical Control of Highly Automated Vehicles. *Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC)*, 2017, S. 499–510.
- [HER16] HERGETH, S., LORENZ, L., VILIMEK, R. & KREMS, J. F. Keep your scanners peeled: Gaze behavior as a measure of automation trust during highly automated driving *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 58(3), S. 509–519, 2016
- [HEW19] Hewitt, C., Politis, I., Amanatidis, T., & Sarkar, A. (2019, March). Assessing public perception of self-driving cars: The autonomous vehicle acceptance model. In *Proceedings of the 24th international conference on intelligent user interfaces* (pp. 518-527).
- [HOF15] Hoff, K. A., Bashir, M. (2015). Trust in Automation: Integrating Empirical Evidence on Factors That Influence Trust. *Human Factors*, 57(3), S. 407 – 434.
- [HU16] HU, W.-L., AKASH, K., JAIN, N. & REID, T. Real-time sensing of trust in human-machine interactions *International Federation of Automatic Control*, S. 48–53, 2016
- [JIA00] Jian, J. Y., Bisantz, A. M., & Drury, C. G. (2000). Foundations for an empirically determined scale of trust in automated systems. *International journal of cognitive ergonomics*, 4(1), 53-71.
- [JUS05] JUSLIN, P. N. & SCHERER, K. R. Vocal expression of affect. *The new handbook of methods in nonverbal behavior research*, S. 65–135, 2005
- [KAU18] KAUR, K. & RAMPERSAD, G. Trust in driverless cars: Investigating key factors influencing the adoption of driverless cars *Journal of Engineering and Technology Management*, 48, S. 87–96, 2018
- [KEL83] Kelley, J. F. An empirical methodology for writing user-friendly natural language computer applications *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '83*, S. 193–196 ACM Press, New York, New York, USA (1983)
- [KHA15] KHAWAIL, A., ZHOU, J., CHEN, F. & MARCUS, N. Using galvanic skin response (GSR) to measure trust and cognitive load in the text-chat environment. *Proceedings of the 33<sup>rd</sup> Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, S. 1989–1994, 2015
- [KHA16] KHALID, H. M., SHIUNG, L. W., NOORALISHAHI, P., RASOOL, Z., HELANDER, M. G., KIONG, L. C. & AI-VYRN, C. Exploring psycho-physiological correlates to trust: Implications for human-robot-human interaction. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 60(1), S. 697–701, 2016

- [KNA09] Knapp, A., Neumann, M., Brockmann, M., Walz, R., & Winkle, T. (2009). Code of Practice for the Design and Evaluation of ADAS, Deliverable of PReVent-Preventive and Active Safety Applications Integrated Project, Version 5.0.
- [KOE18b] KÖRBER, M., BASELER, E. & BENGLER, K. Introduction matters: Manipulating trust in automation and reliance in automated driving. *Applied Ergonomics*, 66, S. 18–31, 2018
- [KOM08] KOMIAK, S. Y. X. & BENBASAT, I. A two-process view of trust and distrust building in recommendation agents: A process-tracing study. *Journal of the Association for Information Systems*, 9(12), S. 727–747, 2008
- [KUN18] KUNZE, S., SUMMERSKILL, S. J., MARSHALL, R. & FILTNESS, A. Automation transparency: implications of uncertainty communication for human-automation interaction and interfaces *Ergonomics*, 62, S. 345–360, 2018
- [LAU70] Laux, L., Glanzmann, P., Schaffner, P., Spielberger, C.D. (1970). State-Trait-Angstinventar (STAI). Beltz Test GmbH, Göttingen.
- [LAU08] Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). Construction and evaluation of a user experience questionnaire. In *HCI and Usability for Education and Work: 4th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society, USAB 2008*, Graz, Austria, November 20-21, 2008. *Proceedings 4* (pp. 63-76). Springer Berlin Heidelberg.
- [LAZ17] Lazányi, K., & Maraczi, G. (2017). Dispositional trust — Do we trust autonomous cars? 2017 IEEE 15th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), 135-140.
- [LEE04] LEE, J. D. & SEE, K. A. Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human Factors: The Journal of Human Factors and Ergonomics Society*, 46(1), S. 50–80, 2004
- [LEI11] LEICHTENSTERN, K., BEE, N., ANDRÉ, E., BERKMÜLLER, U. & WAGNER, J. Physiological measurement of trust-related behavior in trust-neutral and trust-critical situations. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 358, S. 165–172, 2011
- [LUH00] LUHMANN, N. Familiarity, confidence, trust: Problems and alternatives. *Trust: Making and breaking cooperative relations*, 6(1), S. 94-107, 2000
- [MON20] Montamedí, S., Wang, P., Zhang, T., and Chan, C.-Y. (2020), Acceptance of full driving automation: Personally owned and shared-use concepts. *Human Factors*, 62(2), 288–309.
- [MUE19] Müller, A. I., Weinbeer, V., Bengler, K. Using the wizard of Oz paradigm to prototype automated vehicles *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications: Adjunct Proceedings*, S. 181–186 ACM, New York, NY, USA (2019)
- [MUI96] Muir, B. M., & Moray, N. (1996). Trust in automation. Part II. Experimental studies of trust and human intervention in a process control simulation. *Ergonomics*, 39 (3), 429-460.
- [NEY12] Neyer, F. J., Felber, J., & Gebhardt, C. (2012). Entwicklung und Validierung einer Kurzskala zur Erfassung von Technikbereitschaft. *Diagnostica*.
- [PAH07] PAHL, G., BEITZ, W., FELDHUSEN, J., GROTE, K. Pahl/Beitz Konstruktionslehre Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. *Methoden und Anwendung 2007*

- [POE16] PÖHLER, G., HEINE, T. & DEML, B. Itemanalyse und Faktorstruktur eines Fragebogens zur Messung von Vertrauen im Umgang mit automatischen Systemen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 70 (3), S. 151–160, 2016
- [QU21] Qu, W., Sun, H., & Ge, Y. (2021). The effects of trait anxiety and the big five personality traits on self-driving car acceptance. *Transportation*, 48(5), 2663-2679.
- [RIG09] RIGHI, S., MECACCI, L. & VIGGIANO, M. P. Anxiety, cognitive self-evaluation and performance: ERP correlates. *Journal of Anxiety Disorders*, 23(8), S. 1132–1138, 2009
- [ROP10] ROPOHL, G. Das Misstrauen in der Technikdebatte. 2010
- [SAN93] SANDERS, M.S. and MCCORMICK, E.J. *Human Factors in Engineering and Design*, 7th ed., New York: McGraw-Hill, 1993
- [SCH10] Schlick, C., Bruder, R., Luczak, H. *Arbeitswissenschaft* Springer, Berlin, Heidelberg, 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Auflage 2010
- [SCH12] SCHREIBER, M. Konzeptionierung und Evaluierung eines Ansatzes zu einer manöverbasierten Fahrzeugführung im Nutzungskontext Autobahnfahrten TU Darmstadt, 2012
- [SCH18] SCHÖMIG, N., WIEDEMANN, K., NAUJOKS, F., NEUKUM, A., LEUCHTENBERG, B., VÖHRINGER-KUHNT, T. An Augmented Reality Display for Conditionally Automated Driving. 10th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, 2018
- [STR77] STREETER, L. A., KRAUSS, R. M., GELLER, V., OLSON, C. & APPLE, W. Pitch changes during attempted deception. *Journal of personality and social psychology*, 35(5), S. 345–350, 1977
- [SUN20] SUN, X., LI, J., TANG, P., ZHOU, S., PENG, X., LI, H. Nan, WANG, Q. Exploring Personalised Autonomous Vehicles to Influence User Trust. *Cognitive Computation* 6, 2020, S. 1170–1186.
- [TER20] TERKEN, J., PFLEGING, B. Toward Shared Control Between Automated Vehicles and Users. *Automotive Innovation* 1, 2020, S. 53–61.
- [VEN03] VENKATESH, V., MORRIS, M. G., DAVIS, G. B. & DAVIS, F. D. User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), S. 425–478, 2003
- [WAL18] WALKER, F., VERWEY, W. B. & MARTENS, M. Gaze behaviour as a measure of trust in automated vehicles. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> Humanist Conference*, 2018
- [WAL19a] WALKER, F., WANG, J., MARTENS, M. H. & VERWEY, W. B. Gaze behaviour and electrodermal activity: Objective measures of drivers' trust in automated vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 64, S. 401–412, 2019
- [WAL19b] WALKER, F., DEY, D., MARTENS, M., PFLEGING, B., EGGEN, B. & TERKEN, J. Feeling-of-safety slider: Measuring pedestrian willingness to cross roads in field interactions with vehicles. *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 1–6, 2019

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Abschlussbericht
3. Titel EMMI - Empathische Mensch-Maschine-Interaktion zur Erhöhung der Akzeptanz des Automatisierten Fahrens	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Oetermann, Tobias; Wirtz, Lena; Klatt, Maren; Dautzenberg, Pia, Voss, Gudrun; Russ, Fabian	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2023
	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation geplant
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Institut für Kraftfahrzeuge (ika) RWTH Aachen University Steinbachstr. 7 52074 Aachen	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 19A20008F
	11. Seitenzahl 59
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 11019 Berlin	13. Literaturangaben 62
	14. Tabellen 5
	15. Abbildungen 28
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung <p>Aktuell sind signifikante Innovationen im Bereich des automatisierten Fahrens zu verzeichnen. So konnte Mercedes-Benz erstmals ein automatisiertes System nach dem SAE-Level 3 serienmäßig zulassen. Innerhalb der ODD ist somit erstmals nicht mehr der Mensch als überwachende Instanz gefragt, sondern die Gesamtverantwortung liegt bei dem System. Trotz dieses Paradigmenwechsels sind die Vorbehalte gegenüber automatisierten Systemen der Fahrzeugführung nach wie vor hoch. Ein ausreichendes und korrektes Vertrauen in die Systeme ist oft nicht vorhanden. Aus diesem Grund war es das Ziel des Forschungsprojektes EMMI, die Nutzer automatisierter Systeme in ihrem Vertrauen in die Systeme zu bestärken und zu stützen. Aufbauend auf einer Erfassung des Nutzerzustands und etwaiger Schwankungen im Vertrauensniveau der Nutzenden hat das Institut für Kraftfahrzeuge sich innerhalb des Projektes schwerpunktmäßig mit der Konzeptentwicklung und Evaluierung der Konzeptansätze befasst. Ziel der Konzeptansätze war es, das Vertrauen der Nutzer zu stabilisieren und positiv zu beeinflussen. Die Ansätze basierten dabei auf der gezielten Informationsübermittlung an die Nutzenden, um ein möglichst hohes Maß an Transparenz und damit Verständnis für das automatisierte System zu erzeugen. Ein anderer Ansatz ermöglichte die Beeinflussung gezielter Parameter der automatisierten Fahrt an individuelle Bedürfnisse, um den Nutzenden so einerseits ein Gefühl der Kontrolle zurückzugeben und andererseits auf subjektiver Ebene die Fahrt angenehmer und eher der persönlichen Präferenzen entsprechend zu gestalten. Methodisch sind die Konzepte anhand des menschenzentrierten Entwicklungsansatzes entwickelt worden, und wurden in einem iterativen Prozess mithilfe potenzieller Nutzer weiterentwickelt. Den abschließenden Ergebnissen des Projekts kann entnommen werden, dass die Konzepte einen Einfluss auf das Nutzervertrauen haben. Die Einflüsse sind nicht signifikant, jedoch war bereits das Grundvertrauen der Nutzenden sehr hoch. Gründe hierfür können in der Simulation begründet sein, da ein fehlerfreies automatisiertes System abgebildet wurde. Auf der Ebene des Nutzererlebens konnten die Systeme auch zu einer positiven Beeinflussung der Bewertung beitragen. Abschließend lässt sich so schlussfolgern, dass die entwickelten Systeme in der Lage sind, das Nutzererleben und das Vertrauen der Nutzenden in das automatisierte System zu beeinflussen. Ein hohes Maß an Grundvertrauen lässt darauf schließen, dass die Einstellung in der Bevölkerung gegenüber automatisierten Systemen einem positiven Wandel unterliegt. Interessant bleibt jedoch die Frage, was im Falle eines Fehlerfalles passiert, da erfahrungsgemäß verlorenes Vertrauen nur schwer zurückgewonnen werden kann. Eine Übertragung der entwickelten Systeme auf Anwendungsfälle nicht ideal funktionierender Automatisierung wäre somit ein Feld zukünftiger Forschung.</p>	

19. Schlagwörter Trust in Automation; HMI; Indirect Vehicle Guidance; UX; HUD; Automated Driving; Human-Centered Design	
20. Verlag geplant	21. Preis geplant

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN planned	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title EMMI - Empathische Mensch-Maschine-Interaktion zur Erhöhung der Akzeptanz des Automatisierten Fahrens	
4. author(s) (family name, first name(s)) Oetermann, Tobias; Wirtz, Lena; Klatt, Maren; Dautzenberg, Pia, Voss, Gudrun; Russ, Fabian	5. end of project 31.12.2023
	6. publication date planned
	7. form of publication planned
8. performing organization(s) (name, address) Institute for Automotive Engineering(ika) RWTH Aachen University Steinbachstr. 7 52074 Aachen	9. originator's report no.
	10. reference no. 19A20008F
	11. no. of pages 59
12. sponsoring agency (name, address)  Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) 11019 Berlin	13. no. of references 62
	14. no. of tables 5
	15. no. of figures 28
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract There are currently significant innovations in the field of automated driving. For the first time, Mercedes-Benz was able to approve an automated system in accordance with SAE Level 3. This means that for the first time, the human driver is no longer required to monitor the automated system while being in the ODD, but the system has overall responsibility. Despite this paradigm shift, reservations about automated vehicle guidance systems remain high. There is often a lack of sufficient and correct trust in the systems. For this reason, the aim of the EMMI research project was to strengthen and support users of automated systems in their trust in the systems. Based on a survey of the user status and any fluctuations in the confidence level of the users, the Institute for Automotive Engineering focused on concept development and evaluation of the concept approaches within the project. The aim of the concept approaches was to stabilize and positively influence user trust. The approaches were based on the targeted transfer of information to users in order to generate the highest possible degree of transparency and thus understanding of the automated system. Another approach made it possible to influence specific parameters of the automated ride to meet individual needs in order to give users back a sense of control on the one hand and to make the journey more pleasant and more in line with personal preferences on a subjective level on the other. Methodologically, the concepts were developed using the human-centered development approach and were further developed in an iterative process with the help of potential users. The final results of the project show that the concepts have an influence on user trust. The influences are not significant, but the basic trust of the users was already very high. This may be due to the simulation, as an error-free automated system was simulated. At the level of user experience, the systems were also able to contribute to a positive influence on the evaluation. Finally, it can be concluded that the developed systems are able to influence the user experience and the users' trust in the automated system. A high level of basic trust suggests that the population's attitude towards automated systems is subject to positive change. However, the question of what happens in the event of an error remains interesting, as experience has shown that lost trust is difficult to regain. Transferring the developed systems to use cases of automation that does not function ideally would therefore be a field for future research.	
19. keywords Trust in Automation; HMI; Indirect Vehicle Guidance; UX; HUD; Automated Driving; Human-Centered Design	

20. publisher  
planned

21. price  
planned