

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Ko-HAF– Cooperative Highly Automated Driving (Overall final report)	
4. author(s) (family name, first name(s)) Hohm, Andree (Project Manager) Klejnowski, Lukas Skibinski, Sebastian Bengler, Klaus Berger, Stefan Vetter, Johannes Krug, Sebastian	5. end of project November 2018
	6. publication date May 2019
	7. form of publication Document
8. performing organization(s) (name, address) 3D Mapping Solutions GmbH Audi AG BMW AG Bundesanstalt für Straßenwesen Continental Automotive GmbH Continental Safety Engineering International GmbH Continental Teves AG & Co. oHG Daimler AG Hessen Mobil – Straßen- und Verkehrsmanagement Opel Automobile GmbH Robert Bosch GmbH Technische Universität Braunschweig – Institut für Fahrzeugtechnik Technische Universität München – Lehrstuhl für Ergonomie Universität Passau – Institut für Softwaresysteme in technischen Anwendungen Universität Würzburg – Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften Visteon Electronics Germany GmbH	9. originator's report no. ./.
	10. reference no. 19S14002
	11. no. of pages 270
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 11019 Berlin	13. no. of references ./.
	14. no. of tables 12
	15. no. of figures 247
16. supplementary notes ./.	
17. presented at (title, place, date) Projektträger Mobilität und Verkehrstechnologien, Am Grauen Stein, 51105 Köln May 2019	

18. abstract

Ko-HAF aimed at safe, highly automated driving at higher speeds: The driver no longer has to monitor such systems permanently. He may be dedicated to other tasks, but must always be able to take control of the system with a certain amount of time reserve. For this purpose, the foresight of the vehicle must go further than is possible with its own sensors. This is where Ko-HAF started: Vehicles send their surroundings information via mobile radio to the so-called Safety Server. There they are collected and condensed, so that the vehicles have a highly accurate current map available, which provides the necessary better perspective in terms of an artificial horizon.

In summary, Ko-HAF achieved important results in the three and a half years of the project:

- It has been shown that by means of collective perception and communication between vehicles and the Safety Server (backend) a significantly extended perception of the environment is possible. This creates the anticipation range required for highly automated driving at higher speeds.
- Algorithms have been developed to aggregate vehicle fleet data and continuously update backend HD based maps this fleet data.
- Several manufacturers and suppliers have developed and agreed on common concepts for the interaction of vehicles with a backend and for the sensible fusion of sensor data and backend HD cards.
- Ko-HAF has worked closely with SENSORIS, a consortium that develops a standard for the exchange of information between vehicle sensors and back-end solutions and has made valuable contributions to the specification.
- Highly automated driving functions for driving on the highway, such as filter in, overtaking, exiting or emergency stop have been developed. They include robust environment detection, real-time trajectory planning and automated drive, brake and steering control.
- The partners carried out a total of 33 empirical studies on the role of humans in highly automated driving with 1,723 participants and 1,750 hours. There were more than thirty scientific publications on this topic alone.
- Experiments have shown that drowsiness and fatigue may be rapid during automated driving and may be subject to change. Drivers showed strong inter- and intra-individual differences in the development of drowsiness and fatigue. Also, non-driving activities during the automated journey were the focus of the experiments.
- For planned takeover requests, it was shown that multi-level HMI concepts accelerate the termination of non-driving activities and thus the takeover time. A preview of planned takeover requests along the route (based on information from the Safety Server) helps drivers to self-regulate non-driving activities.
- The so-called Take-Over Controllability (TOC) rating has been developed. It is a scientifically well-founded procedure that can be used to assess the controllability of take-over situations in pilot trials in highly automated driving.
- Together, methods and tools were developed for efficient experimental testing of highly automated driving functions in simulation, on test grounds and on public roads.

19. keywords

Ko-HAF, Highly Automated Driving, Safety Server, Vehicle Data Aggregation, Fusion Environment Model, Human Machine Interaction, Controllability Function Development, Testing

20. publisher  
./.

21. price  
./.

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Ko-HAF – Kooperatives Hochautomatisiertes Fahren (Projektübergreifender Schlussbericht)	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Hohm, Andree (Project Manager) Klejnowski, Lukas Skibinski, Sebastian Bengler, Klaus Berger, Stefan Vetter, Johannes Krug, Sebastian	5. Abschlussdatum des Vorhabens November 2018
	6. Veröffentlichungsdatum Mai 2019
	7. Form der Publikation Dokument
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) 3D Mapping Solutions GmbH Audi AG BMW AG Bundesanstalt für Straßenwesen Continental Automotive GmbH Continental Safety Engineering International GmbH Continental Teves AG & Co. oHG Daimler AG Hessen Mobil – Straßen- und Verkehrsmanagement Opel Automobile GmbH Robert Bosch GmbH Technische Universität Braunschweig – Institut für Fahrzeugtechnik Technische Universität München – Lehrstuhl für Ergonomie Universität Passau – Institut für Softwaresysteme in technischen Anwendungen Universität Würzburg – Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften Visteon Electronics Germany GmbH	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 19S14002
	11. Seitenzahl 270
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 11019 Berlin	13. Literaturangaben ./.
	14. Tabellen 12
	15. Abbildungen 240
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger Mobilität und Verkehrstechnologien, Am Grauen Stein, 51105 Köln Mai 2019	

#### 18. Kurzfassung

Ko-HAF zielt auf das sichere hochautomatisierte Fahren bei höheren Geschwindigkeiten: Solche Systeme muss der Fahrer nicht mehr dauerhaft überwachen. Er kann sich anderen Aufgaben widmen, muss jedoch immer in der Lage sein, die Steuerung nach Aufforderung mit einer gewissen Zeitreserve zu übernehmen. Dazu muss die Vorausschau des Fahrzeugs weiter reichen, als dies mit eigenen Sensoren möglich ist. Hier setzte Ko-HAF an: Fahrzeuge senden ihre Umfeldinformationen über Mobilfunk an den sogenannten Safety Server. Dort werden diese gesammelt und verdichtet, sodass den Fahrzeugen eine hochgenaue aktuelle Karte zur Verfügung steht, die im Sinne eines künstlichen Horizonts die benötigte bessere Vorausschau liefert.

Zusammenfassend hat Ko-HAF in der dreieinhalbjährigen Projektlaufzeit wichtige Ergebnisse erreicht:

- Es wurde gezeigt, dass mittels kollektiver Wahrnehmung und Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Safety Server (Backend) eine deutlich erweiterte Umfeldwahrnehmung möglich ist. Dies schafft die für hochautomatisiertes Fahren bei höheren Geschwindigkeiten notwendige Vorausschaureichweite.
- Erarbeitet wurden Algorithmen zur Aggregation von Fahrzeugflottendaten sowie zur kontinuierlichen Aktualisierung von Backend-HD-Karten auf Basis dieser Flottendaten.
- Verschiedene Hersteller und Zulieferer haben gemeinsame Konzepte zur Interaktion von Fahrzeugen mit einem Backend sowie zur sinnvollen Fusion von Sensordaten und Backend-HD-Karten entwickelt und abgestimmt.
- Ko-HAF hat eng mit SENSORIS – einem Konsortium, das einen Standard zum Austausch von Informationen zwischen Fahrzeugsensoren und Backendlösungen entwickelt – kooperiert und dabei wertvolle Beiträge geleistet, die in die Spezifikation eingeflossen sind.
- Hochautomatisierte Fahrfunktionen für das Fahren auf der Autobahn, wie Einfädeln, Überholen, Abfahren oder Nothalt wurden entwickelt. Sie umfassen eine robuste Umfelderkennung, die Trajektorienplanung in Echtzeit sowie die automatisierte Ansteuerung von Antrieb, Bremse und Lenkung.
- Zur Rolle des Menschen beim hochautomatisierten Fahren wurden durch die Partner insgesamt 33 empirische Studien mit 1.723 Teilnehmern und 1.750 Stunden durchgeführt. Es entstanden allein zu diesem Thema mehr als 30 wissenschaftliche Publikationen.
- Versuche haben gezeigt, dass während des automatisierten Fahrens Schläfrigkeit und Ermüdung unter Umständen schnell entstehen können und wechselhaften Veränderungen unterliegen. Fahrer zeigten starke inter- und intraindividuelle Unterschiede in der Entwicklung von Schläfrigkeit und Müdigkeit. Auch fahrfremde Tätigkeiten während der automatisierten Fahrt standen im Fokus der Versuche.
- Für geplante Übernahmeaufforderungen wurde gezeigt, dass mehrstufige HMI-Konzepte das Beenden von fahrfremden Tätigkeiten und damit die Übernahmezeit beschleunigen. Eine Vorschau auf geplante Übernahmeaufforderungen entlang der Route (basierend auf Informationen aus dem Safety Server) hilft Fahrern, fahrfremden Tätigkeiten selbst zu regulieren.
- Mit dem sogenannten Take-Over Controllability (TOC)-Rating wurde ein wissenschaftlich fundiertes Verfahren entwickelt, mit dem Kontrollierbarkeit von Übernahmesituationen in Probandenversuchen beim hochautomatisierten Fahren bewertet werden kann.
- Gemeinsam wurden Methoden und Werkzeuge für eine effiziente experimentelle Erprobung von hochautomatisierten Fahrfunktionen in der Simulation, auf Testgeländen sowie auf Autobahnen im öffentlichen Straßenverkehr entwickelt.

#### 19. Schlagwörter

Ko-HAF, Hochautomatisiertes Fahren, Safety Server, Aggregation von Fahrzeugdaten, Fusion Umfeldmodell, Mensch-Maschine-Interaktion, Kontrollierbarkeit Funktionsentwicklung, Absicherung

20. Verlag  
./.

21. Preis  
./.





## Ko-HAF – Kooperatives, hochautomatisiertes Fahren

# Schlussbericht des Projektkoordinators

Förderkennzeichen	19S14002
Förderkennzeichen der Projektpartner	3DM 19S14002P Audi 19S14002B BASt 19S14002J BMW 19S14002D Bosch 19S14002I CAG 19S14002G CSEI 19S14002H Daimler 19S14002E FORWISS 19S14002L HM 19S14002K IfF 19S14002M IZVW 19S14002N LfE 19S14002O Opel 19S14002F Teves 19S14002A VEG 19S14002Q
Laufzeit des Vorhabens	01.06.2015 bis 30.11.2018

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Autoren

Andree Hohm Continental Teves AG & Co. oHG

Lukas Klejnowski Robert Bosch GmbH  
in Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des AP1

Sebastian Skibinski Audi AG  
in Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des AP2

Klaus Bengler Lehrstuhl für Ergonomie, TU München  
in Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des AP3

Stefan Berger Opel Automobile GmbH  
in Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des AP4

Johannes Vetter Continental Safety Engineering International GmbH  
in Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des AP5

Sebastian Krug, Thorsten Stürmer ZENTEC GmbH

**Ergebnisverbreitung**     Öffentlich  
                                   BMWi  
                                   Projektträger  
                                   Projektpartner

**Dateiname**                    19S14002\_Ko-HAF\_partnerübergreifender-Schlussbericht.docx

**Seitenzahl**                    270

# Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung .....	19
2	Projektidee, Zielsetzungen, Aufgabenstellung, Projektstruktur .....	20
2.1	AP1 Safety Server (Umfelderfassung und -repräsentation im Backend).....	21
2.2	AP2 Frontend (Umfelderfassung und -repräsentation im Fahrzeug).....	21
2.3	AP3 Kooperative Fahrzeugführung und kontrollierbare Automation .....	21
2.4	AP4 Funktionsentwicklung für Normal- und Notbetrieb .....	22
2.5	AP5 Absicherung – Erprobung und Validierung .....	22
3	Herausforderungen, untersuchte Methoden, Ergebnisse .....	23
3.1	AP1 Safety Server (Umfelderfassung und -repräsentation im Backend).....	23
3.1.1	UAP1.1 Spezifikation und Realisierung des Safety Servers .....	23
3.1.1.1	T1.1.1 Anforderungsanalyse und Spezifikation der Architektur.....	24
3.1.1.2	T1.1.2 Spezifikation der zu verwendenden Daten und der Serverfunktionalität.....	26
3.1.1.3	T1.1.3 Entwicklung der Basissoftware sowie Aufbau und Inbetriebnahme des Safety Servers .....	29
3.1.2	UAP1.2 Kommunikation zwischen Backend und Frontend.....	33
3.1.2.1	T1.2.1 Spezifikation von Nachrichten und Schnittstellen zur Kommunikation über Mobilfunk .....	33
3.1.2.2	T1.2.2 Implementierung einer prototypischen Kommunikation über Mobilfunk.....	40
3.1.3	UAP1.3 Datenmodellierung im Safety Server.....	41
3.1.3.1	T1.3.1 Erzeugung hochgenauen (Grund-)Datenmodell .....	42
3.1.3.2	T1.3.2 Lernende Karte – Aggregation von Kartenschichten im Server.....	48
3.2	AP2 Frontend (Umfelderfassung und -repräsentation im Fahrzeug).....	62
3.2.1	UAP 2.1 Gewinnung und Kommunikation von Backend-Daten .....	62
3.2.2	UAP 2.2 Fahrzeugeigenlokalisierung .....	65
3.2.3	UAP 2.3 Statisches fusioniertes Umfeldmodell .....	72
3.3	AP3 Kooperative Fahrzeugführung und kontrollierbare Automation .....	76
3.3.1	UAP3.1 Spezifikation der Prüfscenarien und Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion.....	77
3.3.1.1	Systematik von Nutzungs- und Fahrscenarien (T3.1.1) .....	78
3.3.1.2	Definition der Bewertung der Kontrollierbarkeit (Metriken) (T3.1.2) ....	81
3.3.1.3	Definition der Anforderungen an generische Übernahmekonzepte (T3.1.3) .....	85
3.3.1.4	Erstellung eines Katalogs fahrfremder Tätigkeiten (T3.1.4) .....	87
3.3.2	UAP 3.2 Untersuchungen von Automationseffekten und Implementierung eines Moduls Fahrer Verfügbarkeit und Vigilanz .....	94

3.3.2.1	Übersicht der Studien im UAP3.2 zur Untersuchung von Automationseffekten aufgrund von Müdigkeit und/oder fahrfremden Tätigkeiten .....	95
3.3.2.2	Modul Fahrer Verfügbarkeit .....	164
3.3.3	UAP 3.3. Integration der Transitionskonzepte für HAF und deren Bewertung	170
3.3.3.1	Reaktivierungskonzepte .....	170
3.3.3.2	Entwicklung, Integration und Bewertung von Transitionskonzepten .	170
3.3.3.3	Transitionskonzepte für dringliche und zeitkritische Übernahmesituationen .....	171
3.3.3.4	Mehrstufige Transitionskonzepte für zunächst zeitunkritische Übernahmesituationen .....	173
3.3.3.5	Fazit .....	175
3.3.3.6	Übersicht der Studien im UAP3.3. zur Untersuchung der optimierten Transitionskonzepte .....	176
3.3.4	UAP 3.4 Empfehlungen zu Methoden und Interaktionskonzepten .....	193
3.3.4.1	Methodik .....	193
3.3.4.2	Interaktionskonzepte .....	194
3.3.4.3	Fahrfremde Tätigkeiten .....	194
3.3.4.4	Müdigkeit.....	194
3.3.4.5	Abschlusspräsentation .....	195
3.4	AP4 Funktionsentwicklung für Normal- und Notbetrieb .....	195
3.4.1	UAP4.1 Kooperative Umfeldmodellierung im Fahrzeug, Situationsanalyse und -bewertung.....	196
3.4.1.1	Fusion .....	197
3.4.1.2	Situationen erkennen und verstehen durch kognitive Ansätze.....	198
3.4.1.3	Anforderungen an das statische Umfeldmodell und die Eigenlokalisierung .....	198
3.4.1.4	Umsetzung im Projekt .....	199
3.4.2	UAP4.2 Normalfunktionen.....	202
3.4.2.1	Ziel der Normalfunktionen von Ko-HAF .....	202
3.4.2.2	Konzept zur Aktivierung der hochautomatisierten Fahrfunktionen ....	202
3.4.2.3	Konzept für automatisiertes Auffahren und Einfädeln .....	202
3.4.2.4	Konzept für automatisiertes Abfahren.....	204
3.4.2.5	Konzept für die Fahrerübernahme nach automatisiertem Abfahren..	205
3.4.2.6	Auswahl der Auf- und Abfahrten.....	206
3.4.2.7	Umsetzung und Test der Fahrfunktionen.....	207
3.4.2.8	Demonstration der Fahrfunktionen auf der Ko-HAF-Abschlussveranstaltung .....	208
3.4.3	UAP4.3 Gefahrenstellen .....	210
3.4.3.1	Konzept für den Umgang mit Gefahrenstellen.....	211

3.4.4	UAP4.4 Fahrzeug und sicherer Betrieb.....	214
3.4.4.1	Risikominimaler Betrieb und sicherer Zustand.....	214
3.4.4.2	Sicherheitskonzept für den Erprobungsbetrieb auf öffentlichen Straßen .....	216
3.4.4.3	Fahrzeugaufbau .....	218
3.5	AP5 Absicherung – Erprobung und Validierung .....	218
3.5.1	Testmethodik .....	218
3.5.1.1	Testmethodik.....	219
3.5.1.2	Szenarienentwicklung .....	221
3.5.1.3	Test-Case Identifizierung.....	222
3.5.1.4	Testprozedur .....	223
3.5.1.5	Fahrszenarien Katalog (Use-Cases) .....	224
3.5.1.6	Szenarien .....	224
3.5.1.7	Szenerie Elemente, dynamische Elemente .....	225
3.5.1.8	Rahmenbedingungen.....	226
3.5.2	Testprozedur.....	226
3.5.2.1	Testkatalog (Funktionen).....	226
3.5.2.2	Testspezifikation (Funktionen).....	227
3.5.2.3	Testmittel (Testtools).....	227
3.5.3	Virtuelle Erprobung .....	230
3.5.3.1	Sensormodellvalidierung und Closed-Loop Simulation.....	230
3.5.3.2	Resultate der Wirksamkeitsanalyse.....	234
3.5.4	Erprobung auf dem Testgelände.....	239
3.5.4.1	Ziele dieses Unterarbeitspaketes .....	239
3.5.4.2	Vorbereitung / Inbetriebnahme Testgelände.....	240
3.5.4.3	Durchführung sicherheitskritischer Tests für Ko-HAF Funktionen.....	242
3.5.5	Erprobung im öffentlichen Straßenverkehr.....	242
3.5.5.1	Das Ko-HAF Testgebiet – DRIVE Testfeld Hessen .....	243
3.5.5.2	Vorbereitung des Testfelds und Testdurchführung .....	244
3.5.5.3	Abschlussbetrachtung .....	245
4	Wichtigste Ereignisse.....	246
4.1	Projektübergreifendes Plenum .....	246
4.2	Zwischenpräsentation .....	246
4.3	Testkampagnen .....	250
4.4	Abschlusspräsentation .....	250
5	Austausch mit anderen Förderprojekten und internationalen Standardisierungskonsortien .....	255
5.1	Pegasus.....	255

5.2	SENSORIS .....	255
5.3	ISO .....	256
6	Ergebnisverbreitung.....	258
6.1	Konferenzbeiträge und Publikationen.....	258
6.2	Dissertationen .....	261
6.3	Pressearbeit.....	261
6.4	Internetauftritt.....	261
6.5	Projektvideos .....	262

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Übersicht AP1 und AP2.....	23
Abbildung 2:	Schnittstellen des Ko-HAF-Safety Servers. ....	25
Abbildung 3:	Auf Ko-HAF-Kartendaten lokalisierte LCL-Punkte und Verbindungen.....	27
Abbildung 4:	Statusseite Upload Safety Server. ....	31
Abbildung 5:	Visualisierung der geschichteten Karte in der Serverdatenbank. ....	32
Abbildung 6:	Interaktive 3D-Darstellung der Kartenvisualisierung mit Cesium.....	33
Abbildung 7:	Kommunikationsschnittstellen zwischen Fahrzeug Frontend, AP1-Box und Safety Server. ....	34
Abbildung 8:	Durchfahrt einer Rampe mit mehreren Teilkarten. ....	36
Abbildung 9:	Mapping des Fahrzeugumfelds zum Upload-Format. ....	36
Abbildung 10:	Kartendaten der Kachel 11316/8403 (Frankfurter Kreuz). ....	38
Abbildung 11:	Darstellung des Verfahrens zur Aktualisierung von Kartenkacheln. ....	39
Abbildung 12:	Funktionsprinzip von MQTT.....	41
Abbildung 13:	Extrahierte Markierungen als Grundlage für die Bildung der Spuren und Achsen. ....	44
Abbildung 14:	Ausgewertete Spurmarkierungen und gelegte Achsen. ....	45
Abbildung 15:	Achsenfestlegung entsprechend der obig diskutierten Kriterien und Fahrspuren am Beispiel Offenbacher Kreuz. ....	45
Abbildung 16:	Offenbacher Kreuz in ROAD5 by IPG Automotive. ....	47
Abbildung 17:	Bad Homburger Kreuz in ROAD5 by IPG Automotive. ....	47
Abbildung 18:	Frankfurter Kreuz in ROAD5 by IPG Automotive. ....	48
Abbildung 19:	Klassifikation von möglichen Änderungen. ....	49
Abbildung 20:	Detaillierte Verarbeitungskette zur Aggregation und Änderungserkennung. ....	50
Abbildung 21:	SLAM-Graph einer Befahrung der Dudenhofen-Teststrecke. Jeder Knoten enthält neben der Pose Punktwolken lokaler Linien- und Punktfeatures. ....	51
Abbildung 22:	Schematische Darstellung der Idee der Änderungserkennung: In Gebieten mit einer hohen Dichte an Assoziationskanten (gelb) zwischen den Fahrtengraphen (schwarz, grau, grün) ist eine Änderungsuntersuchung möglich (grün hinterlegt). In Gebieten mit einer niedrigen Dichte an Assoziationskanten zwischen Referenzgraph (blau) und konsolidiertem Fahrtengraph ist eine Änderung wahrscheinlich (rot hinterlegt). ....	51
Abbildung 23:	Detektierte Spurmarkierungen von neun Fahrten. Jede Farbe repräsentiert eine Fahrt. ....	53
Abbildung 24:	Konsolidierung von neun Fahrten. ....	53
Abbildung 25:	Eingefügte Änderung: Die Streckenführung wurde geändert. ....	54
Abbildung 26:	Eingefügte Änderung: Gestrichelte Linien wurden durch durchgezogene Linien ersetzt. ....	54
Abbildung 27:	Der rote Bereich repräsentiert den korrekt gefundenen Änderungsbereich bei geänderter Straßenführung. ....	55

Abbildung 28:	Der rote Bereich repräsentiert den korrekt gefundenen Änderungsbereich bei geänderten Spurmarkierungen. ....	55
Abbildung 29:	Der rote Bereich repräsentiert den gefundenen Änderungsbereich für Punktfeatures. ....	56
Abbildung 30	In dem roten Bereich wurde die Lokalisierungskarte durch die konsolidierte Sicht der neun Fahrten ersetzt. ....	56
Abbildung 31:	Detektierter Änderungsbereich (rot) und vorgesehener Änderungsbereich (blau). ....	57
Abbildung 32:	Simulation von Fahrzeugsichtungen einzelner Kartenattribute sowie der Entwicklung der Konfidenz in Abhängigkeit zu diesen Sichtungen und der Zeit. ....	58
Abbildung 33:	AP1 Kommunikationsbox und Antennen – extern und im Fahrzeug verbaut. ....	59
Abbildung 34:	Darstellung der durchschnittlich gemessenen Downloadgeschwindigkeit entlang des Ko-HAF Testgeländes rund um Frankfurt herum. ....	60
Abbildung 35:	Detailbetrachtung der Upload- und Downloadgeschwindigkeit auf dem Opel Prüffeld in Rodgau Dudenhofen. Rechts: Mit weißen Pfeilen markiert ist der das Gebiet versorgende Funkturm und dessen drei Antennen mit ihrer durch Pfeile eingezeichneten Hauptstrahlrichtung. ....	61
Abbildung 36:	Übersicht der Unterarbeitspakete im AP2 und ihre Schnittstellen zum AP1 und AP4. ....	62
Abbildung 37:	Voraggregierte Übermittlung von Umfeldinformationen durch ein Ko-HAF-Versuchsfahrzeug. Hierbei werden mehrere Landmarken-Observationen zu jeweils 50 Meter langen Teilkacheln zusammengefasst. ....	63
Abbildung 38:	Gleichzeitige Verwendung eines absoluten und eines relativen Koordinatensystems zur Georeferenzierung von Landmarken. ....	64
Abbildung 39:	Heatmap der an den Safety Server übermittelten Sensordaten. ....	64
Abbildung 40:	Die im Rahmen der Ko-HAF Abschlusspräsentation auf dem Prüfgelände in Dudenhofen berücksichtigten dynamischen Events: Autobahn-Vollsperrung, kleines Objekt auf der Fahrbahn (Skibox) und ein Liegenbleiber. ....	65
Abbildung 41:	Das im Rahmen der Ko-HAF Abschlusspräsentation gezeigte Skibox-Szenario aus Vogelperspektive (Abbildung links). Hierbei wird das nachfolgende Fahrzeug durch das Vorderfahrzeug hinsichtlich der auf der Fahrbahn liegenden Skibox gewarnt. Die Gefahrenstelle wird im Rahmen der Trajektorienplanung der HAF-Funktion vorausschauend berücksichtigt (Abbildung rechts). ....	65
Abbildung 42:	Hochgenaue Fahrzeuglokalisierung durch die Verwendung von Punkt- und Linien-förmiger Merkmale aus on-board Wahrnehmung und digitalen Kartendaten. Beispiel, welches eine robuste Lokalisierung unter Idealbedingungen, d.h. eine minimale Abweichung zwischen digitaler Karte und Wahrnehmung zeigt. ....	67
Abbildung 43:	Hochgenaue Fahrzeuglokalisierung durch die Verwendung von Punkt- und Linien-förmiger Merkmale aus on-board Wahrnehmung und digitalen Kartendaten. Beispiel, welches die robuste Lokalisierung trotz Abweichungen zwischen digitaler Karte und Wahrnehmung zeigt. ....	68
Abbildung 44:	Lokalisierung über Spurmarkierungs-Abgleich. ....	68



Abbildung 45:	Lokalisierung über Punktwolken. ....	68
Abbildung 46:	Fusionierte Fahrzeugposition unter Einbindung der Surroundview Kameras (grün), GPS-Position (blau), Prädiktion der lateralen Position rein über Monokamera MFC430 (markiert).....	69
Abbildung 47:	Gegenüberstellung verschiedener Lokalisierungsalgorithmen bei einem Spurwechsel auf der Langen Geraden in Dudenhofen. ....	70
Abbildung 48:	Durgängige Bereitstellung von Güte- und Integritätsmaßen für den Up- und Download von observierten und aggregierten Landmarken. ....	71
Abbildung 49:	Beispielhaftes Ergebnis des Binary Bayes Filters für konstante Single-Frame-Existenzwahrscheinlichkeiten (SFE) von 0,75 (blau) und 0,25 (orange). ....	72
Abbildung 50:	Beispielhafte Visualisierung der Landmarken-gestützten Fahrzeuglokalisierung. Die reine GPS-Position ist in Blau, die Landmarken-gestützte GPS-Position ist in Grün dargestellt. ....	72
Abbildung 51:	Übersicht über das partnerübergreifend abgestimmte statische Fusionskonzept von sensorischer Wahrnehmung und a priori Kartendaten.	73
Abbildung 52:	Partnerübergreifende Sammlung möglicher Kartenfehler (linkes Bild). Partnerübergreifendes Clustering und Priorisierung, der für hochautomatisierte Fahrfunktionen relevanten Kartenfehler. ....	74
Abbildung 53:	Beispielhafte partnerindividuelle Karten-Validitäts-Funktion (BMW), die die Übereinstimmung zwischen sensorischer Perzeption und digitaler Karte widerspiegelt. ....	74
Abbildung 54:	Beispielhaft identifizierte Kartenfehler. Fehlender Leitposten (linkes Bild oben). Inkorrekt attribuierte Fahrstreifenmarkierungen (rechtes Bild oben). Versetzte Fahrstreifenmarkierungen (linkes Bild unten). Fehlende Fahrstreifentopologie im Bereich der Ausfahrt (rechtes Bild unten). ....	75
Abbildung 55:	Beispiel von der Langen Geraden in Dudenhofen für die Fusion (grün) von statischen punkt- und linienförmigen Merkmalen aus der on-board Wahrnehmung (blau) und der digitalen Karte (rot) mittels Bündel-Optimierung. Links vom Videobild sind exemplarisch die Ausgaben des eingesetzten Bündeloptimierungsverfahrens abgebildet (Audi). ....	75
Abbildung 56:	Beispiel eines Autobahnabschnitts bei Frankfurt für die Fusion (grün) von statischen Linien-förmigen Merkmalen aus der on-board Wahrnehmung (blau) und der digitalen Karte (orange) mittels Inferenz (Continental). ....	76
Abbildung 57:	Begriffsdefinitionen in AP3. ....	79
Abbildung 58:	Klassifikation der Übernahmeszenarien. ....	80
Abbildung 59:	Empfehlung geeigneter Testszenarien in Abhängigkeit des Untersuchungsgegenstands. ....	81
Abbildung 60:	Modell des Übernahmeprozesses nach Marberger et al. ....	82
Abbildung 61:	Bewertung des Szenarios in den Kategorien Prädizierbarkeit, Dringlichkeit der Übernahme, Kritikalität und Komplexität der Fahrerreaktion. ....	83
Abbildung 62:	Bewertungsbogen für Übernahmesituationen beim TOC-Rating. ....	85
Abbildung 63:	Übernahmeprozessmodell beim hochautomatisierten Fahren. ....	89
Abbildung 64:	Übernahmeprozessmodell beim hochautomatisierten Fahren und Dimensionierung fahrfremder Tätigkeiten. ....	89
Abbildung 65:	Screenshot des Tätigkeitskatalogs, abgebildet ist ein Ausschnitt. ....	90

Abbildung 66:	Versuchsfahrzeug: modifizierter A4 -Rechtslenker. ....	95
Abbildung 67:	Versuchsfahrzeug: modifizierter Q7-Rechtslenker.....	96
Abbildung 68:	Probandenplatz. ....	99
Abbildung 70:	Oben: Wizard-of-Oz Fahrzeug auf monotoner Ovalbahn des Versuchsgeländes. Links: Im Bereich des Innenspiegels: Kamera zur Messung der Spurposition während der automatisierten Fahrt. Auf dem Dashboard: Kameras für Videoaufzeichnungen des Fahrers. Rechts: Proband im Fahrzeug während kontinuierlicher Überwachungstätigkeit mit EEG-Ableitung, in seiner Hand befindet sich ein Taster. ....	99
Abbildung 69:	Instruktionen für Probanden während der manuellen Baseline-Messung.....	99
Abbildung 71:	Anzeige der Art und Position von Automatisierungsfehlern in der jeweiligen Runde der Ovalbahn für den Wizard-Versuchsleiter.....	100
Abbildung 72:	EEG-Messkoffer auf dem Beifahrersitz (Leihgabe der Daimler AG).....	100
Abbildung 73:	Kombi HAF aktiv.....	102
Abbildung 74:	Übernahmeaufforderung. ....	102
Abbildung 75:	monotone FFT „Pqpd“.....	102
Abbildung 76:	aktivierende FFT „Quiz“.....	102
Abbildung 77:	Fahrzeuginnenraum. ....	102
Abbildung 78:	G.Tec Sensorik, physiologische Messung. ....	102
Abbildung 79:	Ergebnisse in Abhängigkeit der unterschiedlichen Tätigkeiten. ....	104
Abbildung 80:	Fahrzeuginnenraum. ....	105
Abbildung 81:	Kombiinstrument. ....	105
Abbildung 82:	Übernahmeaufforderung. ....	105
Abbildung 83:	Messequipment, physiologische Messung.....	105
Abbildung 84:	Nebenaufgabe Auswahl Lesen.....	105
Abbildung 85:	Nebenaufgabe Auswahl Spielen.....	105
Abbildung 86:	Kombi HAF aktiv.....	108
Abbildung 87:	Übernahmeaufforderung. ....	108
Abbildung 88:	monotone FFT „Pqpd“.....	108
Abbildung 89:	aktivierende FFT „Quiz“.....	108
Abbildung 90:	Fahrzeuginnenraum. ....	108
Abbildung 91:	G.Tec Sensorik, physiologische Messung. ....	108
Abbildung 92:	Verlauf PERCLOS und KSS für beide Tätigkeiten. ....	110
Abbildung 93:	Reaktion der Fahrer nach TOR. ....	110
Abbildung 94:	Reaktionszeiten und TOC-Ratings in Abhängigkeit der Tätigkeiten.....	111
Abbildung 95:	Fahrzeuginnenraum und verwendete Strecke im Simulator.....	111
Abbildung 96:	Wizard-of-Oz Fahrzeug. ....	113
Abbildung 97:	Fahrzeuginnenraum. ....	113
Abbildung 98:	Kombi HAF aktiv.....	113

Abbildung 99: Übernahmeaufforderung. ....	113
Abbildung 100: monotone FFT „Pqpd“. ....	113
Abbildung 101: Fahrstrecke. ....	113
Abbildung 102: Verlauf PERCLOS und KSS für beide Tätigkeiten. ....	115
Abbildung 103: Fotodokumentation Bosch Versuch 1. ....	115
Abbildung 104: Übernahmedauern (Zeit bis zum Heranziehen der Lenkradwippen) und andere Zeitdauern im Zusammenhang mit der manuellen Kontrollübernahme durch den Fahrer. Abgebildet sind Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle. ....	117
Abbildung 105: Standardabweichung der lateralen Spurposition (SDLP), gemittelt über 5-Sekunden-Intervalle nach Kontrollübernahme; Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle. ....	118
Abbildung 106: Auswahl von Tätigkeiten aus Studie 1 (v.l.n.r.): Video, Suchaufgabe, Tetris®. ....	118
Abbildung 107: Die Übernahmesituation (Kurve) und Visuelle Komponenten von TOR1 (links) und TOR2 (rechts). ....	118
Abbildung 108: Einfluss der untersuchten Tätigkeiten auf verschiedene Übernahmemaße. Links: Dauer bis Hände frei sein; Mittig: Dauer bis Handerkennung am Lenkrad; Rechts: Übernahmezeit. ....	120
Abbildung 109: Die fahrfremden Tätigkeiten aus Studie 2: Tetris®(links) und das Malspiel Kids Paint Free® (rechts). ....	120
Abbildung 110: Die Übernahmesituation (Kurve) und die visuellen Komponenten von TOR1 (links) und TOR2 (rechts). ....	121
Abbildung 111: Einfluss der Anzahl der Unterbrechungsschritte auf Übernahmezeiten. In der Referenzbedingung („Baseline“) wurde keine fahrfremde Tätigkeit ausgeführt. ....	123
Abbildung 112: Statischer Fahrsimulators des Lehrstuhls für Ergonomie und Übernahmeaufforderung. ....	123
Abbildung 113: Anzeige der verschiedenen Modi der Automation. ....	123
Abbildung 114: Bildschirmanzeige von SmartEye inklusive Weltmodell und Sitzdruckmatten im Simulator. ....	123
Abbildung 115: Übernahmesituationen Unfall, Baustelle und Autobahnkreuz (links → rechts). ....	124
Abbildung 116: Zusammenfassung der Ergebnisse der objektiven Parameter der Übernahmeleistung. ....	126
Abbildung 117: Zusammenfassung der Ergebnisse der Fahrerzustandsänderungen. ....	127
Abbildung 118: Fahrszene mit Eye-Tracking Kamera und Button zur De-/Aktivierung der Automation. ....	127
Abbildung 119: Formenball und Surrogate Reference Task als fahrfremde Tätigkeiten. ....	128
Abbildung 120: Position der Eye-Tracking Kameras im Fahrzeug und Sitzdruckmatten. ....	128
Abbildung 121: Übernahmesituationen Unfall und Baustelle. ....	128
Abbildung 122: Darstellung der untersuchten Abwendungen: keine Abwendung (links) und maximale Abwendung (rechts). ....	130

Abbildung 123: Verwendete Sitzkiste des Lehrstuhls für Ergonomie und Darstellung des verwendeten Surrogate Reference Tasks (SuRT). .....	131
Abbildung 124: Reale Konfiguration der Kameras (links) und berechnete Position der Kameras (rechts). .....	131
Abbildung 125: Darstellung der beiden Situationen Unfall und Baustelle. ....	131
Abbildung 126: Links: Boxplot der maximalen Querschleunigung zwischen Übernahmeaufforderung und Systemgrenze ( $n_{ohne} = 15$ , $n_{mit} = 15$ , *** $p < 0,001$ ). Rechts: Boxplot der prozentualen Änderung der Varianz des Mitteldrucks in der Sitzfläche zwischen Zeitraum Baseline und Zeitraum 1 ( $n_{ohne} = 11$ , $n_{mit} = 15$ , ** $p < 0,01$ ). .....	133
Abbildung 127: Fahrszene mit Eye-Tracking Kamera und Semitransparentes Spiel im HUD... .....	133
Abbildung 128: Freeze Moment des SAGAT und Übernahme-Situation Baustelle. ....	134
Abbildung 130: Simulatorsetting mit HMI-Anzeigeelementen und Fahrfremder Tätigkeit (Tablet in Halterung). .....	136
Abbildung 129: Prüfzenario: Übernahmeaufforderung vor Kurve (TLC = 8 sec.) .....	136
Abbildung 131: Übernahmesituation: Unfallwagen auf Ego-Spur (TTC = 6s) und Fahrfremde Tätigkeit (Visuell-manuell in Halterung). .....	138
Abbildung 132: Übernahmesituation: Unfallwagen auf Ego-Spur (TTC = 6 vs. 8s) .....	140
Abbildung 133: Links: Mercedes-Benz Fahrsimulator. Rechts: Ansicht innerhalb der Simulatorzelle. ....	142
Abbildung 134: Links: Übernahmeaufforderung im Kombi-Instrument. Rechts: Fahrer während der Ausübung einer fahrfremden Tätigkeit. ....	142
Abbildung 135: Links: Multimedia-Menü in dem die fahrfremden Tätigkeiten während der automatisierten Fahrt präsentiert wurden. Rechts: kritische Übernahmesituation aufgrund eines liegengebliebenen Fahrzeugs in der eigenen Spur. ....	142
Abbildung 136: Kontrollblickverhalten während der 60s vor der HAF-Übernahmesituation im Fahrsimulator: durchschnittliche Häufigkeit der Kontrollblicke (Glance frequency) in 60s und der Blicklänge (Glance duration) – Häufigkeit der Kontrollblicke für $n = 89$ Probanden für alle AOIs (Areas of Interest). Blicklänge für die gespeicherte Blicke für jede AOI: $n_{central display} = 89$ , $n_{windshield} = 82$ , $n_{exterior mirrors} = 18$ , $n_{rearview mirror} = 18$ , $n_{instrument cluster} = 17$ . „Central Display“ darstellt ein Bildschirm (integriert in der Mittelkonsole des Fahrzeugs, nah am Front-Schutzscheibe), wo die fahrfremden Tätigkeiten ausgeführt werden. ....	145
Abbildung 137: Gesamte durchschnittliche Blicklänge (% und s) per 60s automatisierten Fahrt Level 3 für verschiedene AOIs ( $n = 89$ ). .....	146
Abbildung 138: Links: Mercedes-Benz Fahrsimulator. Mitte: Ansicht innerhalb der Simulatorzelle. Rechts: Ansicht des Fahrzeuginnenraums mit Display für die fahrfremde Tätigkeit. ....	146
Abbildung 139: Übersicht der vier Übernahmesituationen während des Versuchs: (1) fehlende Spurmarkierungen auf gerade Straßenabschnitt (2) fehlende Spurmarkierungen auf leicht gekrümmte Straßenabschnitt mit seitlichen Wind (3) extra Spur (4) blockierte EGO-Spur .....	147

- Abbildung 140: Reaktionszeit in Übernahme-situation 2 für die vier Probandengruppen, geteilt nach fahrfremden Tätigkeiten. Darstellung der Reaktionszeit: bis Blick auf der Straße „eyes on“; bis Hände am Lenkrad „hands on“; bis Systemdeaktivierung durch Probandeneingriff; bis Systemdeaktivierung, inkl. verstrichener Zeitbudget. Die Mittelwerte sind dargestellt mit Standartabweichungen (als Fehler Balken). \*  $p \leq 0.05$  \*\*  $p \leq 0.01$ . ..... 149
- Abbildung 141: Links: mittlere Abweichung von Spurmitte für die vier Probanden-/Fahrer-Gruppen über eine Zeit von 10s nach der Übernahmeaufforderung (take-over request (TOR)) während der Wind/Windböen aktiv war. Rechts: mittlere Abweichung von Spurmitte und mittlere Querbeschleunigung für die vier Probanden-/Fahrer-Gruppen über 10s nach der Übernahmeaufforderung. \*  $p \leq 0.05$  \*\*  $p \leq 0.01$ . ..... 150
- Abbildung 142: Reaktionszeit nach Übernahmeaufforderung für Blick auf der Straße „eyes on“ (links) und Reaktionszeit für Hände an der Lenkrad „hands on“ (rechts) in Übernahme-situationen 1 und 4 für Probanden, die keine, wenig oder regelmäßige Erfahrung mit ACC (Adaptive Cruise Control) hatten. Die Mittelwerte sind dargestellt mit Standartabweichungen (als Fehler Balken). \*  $p \leq 0.05$  \*\*  $p \leq 0.01$ . ..... 150
- Abbildung 143: Vergleich der Reaktionszeit für Blick auf der Straße „eyes on“ (nur abgelenkte Probanden im Fahrsimulator), Reaktionszeit für Hände an der Lenkrad „hands on“ (abgelenkte und nicht-abgelenkte Probanden) und der Zeit bis Deaktivierung des Systems (abgelenkte und nicht-abgelenkte Probanden) in allen vier Übernahme-situationen. Die Mittelwerte sind dargestellt mit Standartabweichungen (als Fehler Balken). \*  $p \leq 0.05$  \*\*  $p \leq 0.01$ . ..... 151
- Abbildung 144: Darstellung (Displays) der Systemzustände (von links nach rechts): System nicht verfügbar (not available); System verfügbar (available) aber noch nicht aktiviert; System aktiviert; Übernahme Aufforderung (Take over!) wegen erkannter Systemgrenze. .... 151
- Abbildung 145: Oben: EGO-Fahrzeug driftet seitlich von der Spur in Übernahme-situation (erreichte Systemgrenze) wegen fehlender Spurmarkierungen und seitlichem Wind. Unten: EGO-Fahrzeug bremst wegen plötzlichem Spurwechsel und Verlangsamung des weißen Fahrzeugs nach Überholen. .... 152
- Abbildung 146: Innenzelle im Fahrsimulator. Der Proband ist beschäftigt mit fahrfremden Tätigkeiten, Tablet ist integriert in der Mittelkonsole (links) oder wird in den Händen gehalten (rechts). ..... 152
- Abbildung 147: Reaktionszeiten und Messung der Übernahmequalität bei quer (lateral) (Bild links) und längs (longitudinal) (Bild rechts) Manövern für Probandengruppen mit verschiedenen manuellen Tätigkeiten. Parameter minimale Abstand „min. distance“ ist geteilt durch 10 für bessere Darstellung. Die Mittelwerte sind abgebildet mit Standartabweichungen (als Fehler-Balken). \*  $p \leq 0.05$  \*\*  $p \leq 0.01$ . ... ..... 155
- Abbildung 148: Reaktionszeiten und Messung der Übernahme Qualität bei quer (lateral) (Bild links) und längs (longitudinal) (Bild rechts) Manövern für Probandengruppen mit verschiedenem Schwierigkeitsgrad der ausgeübten kognitiven Tätigkeiten. Parameter minimaler Abstand „min. distance“ ist geteilt durch 10 für bessere Darstellung. Die Mittelwerte sind abgebildet mit Standartabweichungen (als Fehler-Balken). \*  $p \leq 0.05$  \*\*  $p \leq 0.01$ . ..... 155
- Abbildung 149: Fotodokumentation Versuch 4 für Referenzdaten zu manuellen Fahrten: Mercedes-Benz Fahrsimulator- und Versuchsumgebung; Getestete Situationen; Ausgeübte fahrfremden Tätigkeiten. .... 156

Abbildung 150: Videodokumentation (Screenshot) der Versuchsumgebung. ....	157
Abbildung 151: Fotodokumentation Versuch 5: Mercedes-Benz Fahrsimulator- und Versuchsumgebung; Getestete Situationen; Ausgeübte fahrfremden Tätigkeiten; HMI-Status Anzeige Autopilot und Übernahmeaufforderung in der Headunit.....	160
Abbildung 152: Videodokumentation (Screenshot) der Versuchsumgebung. ....	161
Abbildung 153: Probanden-Aufmerksamkeitscluster: Anzahl der Kontrollblicke und deren maximale Blickdauer während einer L3-autonomatisierten Fahrt vor der Situation mit ToR. Die Graphiken wurden mittels „k-means-clustering“ generiert.....	164
Abbildung 154: Reaktionszeiten nach ToR (t=0) in Abhängigkeit von Workload und NDRT.....	164
Abbildung 155: Grafische Benutzeroberfläche für den interaktiven Demonstrator zum „Fahrerverfügbarkeitsmodell“.....	166
Abbildung 156: Reaktionsmerkmal „Blickreaktion“: (Links) kumulierte Verteilungsfunktionen der Reaktion. Mit Kreisen markiert sind die Stützstellen der Daten der Studie. Die durchgezogenen Linien sind die modellierten Werte über der Zeit. (Rechts) Modellierte Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen. Die Tätigkeiten des Fahrers waren „überwachen“ (blau), „lesen“ (rot) und „spielen“ (grün).....	168
Abbildung 157: Dargestellt sind Zeiträume der 90% Perzentile der Reaktionsmerkmale bei verschiedenen Tätigkeiten. Die Abläufe ähneln sich, jedoch unterscheiden sie sich deutlich in ihren zeitlichen Ausmaßen. ....	169
Abbildung 158: Detailzustände des Fahrers bei der Übernahme nach dem R2I und vor der Intervention. Die Bereitschaften in der sensorischen und motorischen Domäne werden durch reflexhafte Reaktionen erlangt, deren Zeitdauern weitgehend unabhängig von der fahrfremden Tätigkeit vor dem R2I sind. Viele Aspekte der Bereitschaft in der kognitiven Domäne entziehen sich der objektiven Beobachtung. ....	170
Abbildung 159: HMI Konzept in beiden Situationen eine Sekunde vor Erreichen der Systemgrenze. ....	172
Abbildung 160: Die Übernahmeaufforderung erstreckt sich über die fahrfremden Tätigkeiten und die Transition und endet in der manuellen Fahrtätigkeit. Die mehrstufige Übernahmeaufforderung ermöglicht eine komfortable und gleichzeitig sichere Herstellung der Bereitschaft zur Intervention. ....	173
Abbildung 161: Links: Statusanzeigen und Umfelddarstellung im Kombiinstrument, Rechts: Vorschau über bevorstehende Übernahmesituationen im Mitteldisplay. ....	175
Abbildung 162: Beendigung der Tablet-Aufgabe (Situation: Pannenfahrzeug) im Zeitverlauf für die einzelnen HMI-Varianten (kumulierte Häufigkeit). ....	175
Abbildung 163: Statischer Simulator der BMW AG und Blick vom Fahrerplatz auf die Fahrszene im statischen Simulator.....	176
Abbildung 164: Mock-Up mit Plasmabildschirmen als Rückkanäle und Sensoren für die Messung physiologischer Parameter (EKG, EDA, EOG). ....	176
Abbildung 165: Eyetracker Dikablis.....	176
Abbildung 166: Übersicht der erhobenen Daten.....	177
Abbildung 167: Verlauf der subjektiven Müdigkeitsbewertung.....	178

Abbildung 168	Reaktionszeiten bis Herstellung Fahrbereitschaft (Hands-on oder Bremspedalberührung) und Ausführen des 1. Fahrmanövers (Bremspedalstellung >10% oder Lenkwinkeländerung >2°).....	179
Abbildung 169:	Dynamischer Simulator der BMW AG und Innenraumansicht mit „pqpd“-Aufgabe.....	179
Abbildung 170:	Übernahmesituation „Ausweichen“ und Übernahmesituation „Bremsen“...	179
Abbildung 171:	ABK-Varianten (Rtl).....	180
Abbildung 172:	Reaktionszeit Hands-On.....	182
Abbildung 173:	Reaktionszeit erstes Fahrmanöver. ....	182
Abbildung 174:	Darstellung der Art der Bewältigung (Ausweichen vs. Stehenbleiben) in den beiden Übernahmesituationen.....	182
Abbildung 175:	Dauer des ersten Blicks ins Kombi-Instrument. ....	182
Abbildung 176:	Videobilder aus dem WoOz-Versuchsfahrzeug während der automatisierten Fahrt mit Bearbeitung (motivierender) fahrfremder Tätigkeiten (hier: Stricken eines Pullovers) und MMI-Anzeigekonzept für den Automatisierungszustand und der Übernahmeaufforderung der Fahrzeugsteuerung.....	183
Abbildung 177:	Ermüdungsverlauf über die automatisierte Fahrdauer bei permanenter Überwachungsnotwendigkeit und bei Bearbeitung fahrfremder Tätigkeiten. Eine hohe EEG-Alphaspindele rate geht mit erhöhter Ermüdung einher. Die Fehlerbalken repräsentieren den Standardfehler.....	185
Abbildung 178:	Generisches HMI der Versuche zum Fahrerzustand und Anzeige des Head-Up Displays im statischen Fahrsimulators des Lehrstuhls in dem das optimierte Anzeigekonzept dargestellt wurde. ....	185
Abbildung 179:	HMI Konzept in beiden Situationen.....	185
Abbildung 180:	PEOR zwischen den Gruppen und den Situationen. ....	188
Abbildung 181:	Bewertung von Nützlichkeit und Zufriedenstellung. ....	188
Abbildung 182:	Links: Tetris® spielen auf dem Tablet. Mitte: Die Box zum Verstauen des Tablets (in Bedingungen mit hohem Unterbrechungsaufwand). Rechts: Visuelle Komponente des Take-Over-Requests. ....	188
Abbildung 183:	Schematische Darstellung der Übernamesituation. ....	189
Abbildung 184:	Links: Zeit ab Ausgabe des Take-Over-Requests bis zur ersten Fahrerreaktion (Bremsen, Tastendruck oder Lenkradwinkel > 2°) in Abhängigkeit von Unterbrechungsaufwand und Fahrer motivation. Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle. Rechts: Zeit ab Ausgabe des Take-Over-Requests bis zur Fahrerreaktion in Abhängigkeit des Unterbrechungsaufwands. Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle.....	191
Abbildung 185:	Links: Tetris® spielen auf dem Tablet. Mitte: Die Box zum Verstauen des Tablets (in Bedingungen mit hohem Unterbrechungsaufwand). Rechts: Visuelle Komponente des Take-Over-Requests. ....	191
Abbildung 186:	Schematische Darstellung der Übernamesituation. ....	191
Abbildung 187:	Zeit ab Ausgabe des Take-Over-Requests bis zur ersten Fahrerreaktion (Bremsen, Tastendruck oder Lenkradwinkel > 2°) in Abhängigkeit von Unterbrechungsaufwand und Zeitbudget. Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle.....	193
Abbildung 188:	Datenfluss Umfeldmodell und Situationsanalyse.....	196

Abbildung 189: Automatisiertes Abfahren (oben) und automatisiertes Einfädeln (unten). ...	197
Abbildung 190: Auszug aus der Anforderungsliste der Kartenattribute an AP1. ....	199
Abbildung 191: TU Braunschweig, Institut für Fahrzeugtechnik: Visualisierung des Umfeldes mit erkannter Berandung, Linien und dynamischen Objekten. ....	200
Abbildung 192: Opel: Umfelderkennung und Visualisierung. Links sind zwei Bilder von Front- und Heckkamera zu sehen; rechts die komplette Umfelddarstellung mit Spurmarkierungen und erkannten Objekten. Das Ego-Fahrzeug ist dunkel dargestellt; die Umfeldobjekte enthalten eine Identifikationsnummer, eine Klassifizierung sowie die gemessene Geschwindigkeit. ....	200
Abbildung 193: Audi: Umfelderkennung und Visualisierung. Das rechte Bild zeigt die Lange Gerade in Dudenhofen, das linke Bild das Ende der Teststrecke mit der kommenden Ausfahrt. Die erkannten Linien sind blau markiert. ....	201
Abbildung 194: Continental Teves: Modell für die Umfelderkennung aus Sensoren und Karte (links oben); fusioniertes Umfeldmodell aus statischen und dynamischen Elementen (links unten); erkannte Linien und deren Repräsentation (rechts). ....	201
Abbildung 195: Bosch: Fusionierte Umfeldrepräsentation einer dreispurigen Autobahn in beide Richtungen. Unten rechts in grau ist das Egofahrzeug zu sehen; der vorausfahrende Verkehr wird durch gelbe Boxen dargestellt. ....	201
Abbildung 196: Teil-Szenarien Auffahren (links) und wegfallender Fahrstreifen (rechts). ...	203
Abbildung 197: Ausgewählte Anschlussstellen auf der Ko-HAF-Teststrecke um Frankfurt.	207
Abbildung 198: Auffahrt und Einfädeln hinter einem Hasenfahrzeug auf die Lange Gerade in Dudenhofen; blau: gefahrene Trajektorie, gelb: geplante Trajektorie. ....	208
Abbildung 199: Aufnahme am Anfang des Ausfahrstreifens von der Langen Geraden in Dudenhofen; das Hasenfahrzeug auf der linken Spur wird von der Sensorik und auf der Umfelddarstellung gezeigt. ....	209
Abbildung 200: Auffahren und Einfädeln auf die B45 bei Rodgau-Dudenhofen in Richtung Norden. ....	209
Abbildung 201: Abfahrt von der B45 bei Rodgau-Dudenhofen in Richtung Süden. ....	210
Abbildung 202: Detektion einer Wanderbaustelle: Freifeldererkennung, Umfelddarstellung und Kamerabild (v.l.n.r.). ....	210
Abbildung 203: Die vom Server gemeldete Position des Liegenbleibers wird im Conti-HMI rot dargestellt. ....	214
Abbildung 204: Fehlerauslösungen und Rückfallebenen. ....	215
Abbildung 205: Ableiten von spezifischen Use-Cases. ....	221
Abbildung 206: Beschreibung der Basis-Szenarien durch generische Rahmenbedingungen. ....	221
Abbildung 207: Spezifizierung der Rahmenbedingungen als Schnittstelle zwischen Szenarientwicklung und Testprozedur. ....	222
Abbildung 208: Abstraktion des Test-Case Identifikationsprozesses. ....	222
Abbildung 209: Maneuver und Szenerie zur Umfeldbeschreibung mittels spezifischer Rahmenbedingungen eines Testfalls. ....	223
Abbildung 210: Testspezifikationen als Vorgaben für die Testdurchführung. ....	223
Abbildung 211: Schaubild der Testmethodik zur Erprobung des automatisierten Fahrens.	224



Abbildung 212: Abstammung der Test-Cases von den Basis-Szenarien und Use-Cases. .	224
Abbildung 213: Testfallbeschreibung im Testkatalog. ....	227
Abbildung 214: Assignment Testfälle vs. Testumgebung. ....	227
Abbildung 215: Anzeigekonzept Test-Assistent mit Kartenanzeige. ....	228
Abbildung 216: Konzept „TestAssist“ Hardware. ....	229
Abbildung 217: Concept „Testmanager“ lff. ....	229
Abbildung 218: Mockup als Grundlage der virtuellen Erprobung. ....	230
Abbildung 219: Visualisierung der Methode zur Validierung umfelderfassender Sensormodelle. ....	230
Abbildung 220: Schematische Darstellung notwendiger Komponenten zur Validierung umfelderfassender Sensormodelle. ....	231
Abbildung 221: Ausschnitt der hochgenau nachmodellierten Umgebung für die Validierung umfelderfassender Rohdatenmodelle und Vergleich einer realen und virtuellen Fahrt. ....	232
Abbildung 222: Visualisierung einer realen und virtuell nachgestellten Fahrt mit entsprechenden Sensor- und Fusionsergebnissen. ....	233
Abbildung 223: Ergebnisse der Validierung umfelderfassender Sensormodelle am Beispiel von Lidarpunktwolken. ....	234
Abbildung 224: Reale (links) und virtuelle Erprobung (rechts) eines beispielhaften Szenarios. .....	234
Abbildung 225: Im Rahmen der Wirksamkeit untersuchte Verkehrsszenarien. ....	235
Abbildung 226: Exemplarische Darstellung des Auffahrt- (links) und Fahrstreifenende- Szenarios (rechts) für die Simulation in der Wirksamkeitsanalyse. ....	236
Abbildung 227: Exemplarische Darstellung des „Auffahren auf Stauende“- (links) und des „Objekt im Fahrstreifen“-Szenarios (rechts) für die Simulation in der Wirksamkeitsanalyse. ....	236
Abbildung 228: Ergebnisse des Verkehrsszenarios „Auffahrt“. ....	237
Abbildung 229: Ergebnisse des Verkehrsszenarios „Fahrstreifenende“. ....	237
Abbildung 230: Ergebnisse des Verkehrsszenarios „Objekt im Fahrstreifen“. ....	238
Abbildung 231: Ergebnisse des Verkehrsszenarios „Stauende“. ....	238
Abbildung 232: Ergebnisse des Verkehrsszenarios „Nothaltemanöver“. ....	239
Abbildung 233: Beschreibung des Testgeländes Dudenhofen. ....	241
Abbildung 234: Moderne Ausstattung der BAB 5 bei Frankfurt am Main. ....	243
Abbildung 235: Ko-HAF Testgebiet – Das DRIVE Testfeld Hessen rund um Frankfurt am Main. ....	244
Abbildung 236: Das Ko-HAF-Team beim projektübergreifenden Plenum am 10. März 2016 in Darmstadt. ....	246
Abbildung 237: Verteilung der Besucher der Zwischenpräsentation. ....	247
Abbildung 238: Vortragsprogramm zur Zwischenpräsentation auf dem Veranstaltungsflyer. ... .....	247
Abbildung 239: Lageplan zur Zwischenpräsentation auf dem Veranstaltungsflyer. ....	248

Abbildung 240: Impressionen von der Ko-HAF Zwischenpräsentation. ....	249
Abbildung 241: Projektteam und Versuchsträger bei der Generalprobe zur Abschlusspräsentation auf der sogenannten Langen Geraden auf dem Opel Prüffeld in Dudenhofen. ....	251
Abbildung 242: Vortragsprogramm zur Abschlusspräsentation auf dem Veranstaltungsflyer. ...	251
Abbildung 243: Lageplan zur Abschlusspräsentation auf dem Veranstaltungsflyer. ....	252
Abbildung 244: Impressionen von der Ko-HAF Abschlusspräsentation am 19. und 20. September 2018 auf dem Opel Prüfgelände in Rodgau-Dudenhofen. ....	254
Abbildung 245: Zeitlicher Verlauf der Ko-HAF und SENSORIS-Entwicklung. ....	256
Abbildung 246: Projekthomepage Ko-HAF. ....	262
Abbildung 247: Übersichtseite des YouTube-Kanals von Ko-HAF ( <a href="http://www.ko-haf.de/youtube">www.ko-haf.de/youtube</a> ). ...	263

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wirkketten- und damit Partner-spezifische Anforderungen an die Fahrzeuglokalisierung. ....	67
Tabelle 2: Klassifikation der Faktoren Dringlichkeit, Prädizierbarkeit, Kritikalität und Komplexität der Fahrerreaktion. ....	80
Tabelle 3: Übersicht über Dimensionen von FFT und mögliche Operationalisierungen	92
Tabelle 4: Übersicht über natürliche fahrfremde Tätigkeiten. ....	93
Tabelle 5: Übersicht über standardisierte fahrfremde Tätigkeiten. ....	94
Tabelle 6: Übersicht: Darstellung der Systemzustände mit Systemstatus Display. ....	147
Tabelle 7: Abhängige Variablen für die Datenanalyse der Übernahme-situation Blickverhalten während der drei betrachteten Situationen (Video-Labeling) ....	154
Tabelle 8: Zeitbereiche der maximalen Wahrscheinlichkeit einer fahrfremden Tätigkeit bei dem Reaktionsmerkmal „Blickreaktion“. Die Zeitbereiche korrespondieren mit den markierten Bereichen in Abbildung 150 rechts. ....	168
Tabelle 9: Ergebnisse der Parameterauswahl für die laterale Positionsbestimmung eines Lidars. ....	232
Tabelle 10: Übersicht innerhalb für die Wirksamkeitsanalyse durchgeführten Simulation variierten Parameter. ....	235
Tabelle 11: Vortragsprogramm der Ko-HAF Zwischenpräsentation. ....	248
Tabelle 12: Vortragsprogramm der Ko-HAF Abschlusspräsentation. ....	253

# 1 Zusammenfassung

Ko-HAF zielt auf das sichere hochautomatisierte Fahren bei höheren Geschwindigkeiten: Solche Systeme muss der Fahrer nicht mehr dauerhaft überwachen. Er kann sich anderen Aufgaben widmen, muss jedoch immer in der Lage sein, die Steuerung nach Aufforderung mit einer gewissen Zeitreserve zu übernehmen. Dazu muss die Vorausschau des Fahrzeugs weiter reichen, als dies mit eigenen Sensoren möglich ist. Hier setzte Ko-HAF an: Fahrzeuge senden ihre Umfeldinformationen über Mobilfunk an den sogenannten Safety Server. Dort werden diese gesammelt und verdichtet, sodass den Fahrzeugen eine hochgenaue aktuelle Karte zur Verfügung steht, die im Sinne eines künstlichen Horizonts die benötigte bessere Vorausschau liefert.

Zusammenfassend hat Ko-HAF in der dreieinhalbjährigen Projektlaufzeit wichtige Ergebnisse erreicht:

- Es wurde gezeigt, dass mittels kollektiver Wahrnehmung und Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Safety Server (Backend) eine deutlich erweiterte Umfeldwahrnehmung möglich ist. Dies schafft die für hochautomatisiertes Fahren bei höheren Geschwindigkeiten notwendige Vorausschaureichweite.
- Erarbeitet wurden Algorithmen zur Aggregation von Fahrzeugflottendaten sowie zur kontinuierlichen Aktualisierung von Backend-HD-Karten auf Basis dieser Flottendaten.
- Verschiedene Hersteller und Zulieferer haben gemeinsame Konzepte zur Interaktion von Fahrzeugen mit einem Backend sowie zur sinnvollen Fusion von Sensordaten und Backend-HD-Karten entwickelt und abgestimmt.
- Ko-HAF hat eng mit SENSORIS – einem Konsortium, das einen Standard zum Austausch von Informationen zwischen Fahrzeugsensoren und Backendlösungen entwickelt – kooperiert und dabei wertvolle Beiträge geleistet, die in die Spezifikation eingeflossen sind.
- Hochautomatisierte Fahrfunktionen für das Fahren auf der Autobahn, wie Einfädeln, Überholen, Abfahren oder Nothalt wurden entwickelt. Sie umfassen eine robuste Umfelderkennung, die Trajektorienplanung in Echtzeit sowie die automatisierte Ansteuerung von Antrieb, Bremse und Lenkung.
- Zur Rolle des Menschen beim hochautomatisierten Fahren wurden durch die Partner insgesamt 33 empirische Studien mit 1.723 Teilnehmern und 1.750 Stunden durchgeführt. Es entstanden allein zu diesem Thema mehr als 30 wissenschaftliche Publikationen.
- Versuche haben gezeigt, dass während des automatisierten Fahrens Schläfrigkeit und Ermüdung unter Umständen schnell entstehen können und wechselhaften Veränderungen unterliegen. Fahrer zeigten starke inter- und intraindividuelle Unterschiede in der Entwicklung von Schläfrigkeit und Müdigkeit. Auch fahrfremde Tätigkeiten während der automatisierten Fahrt standen im Fokus der Versuche.
- Für geplante Übernahmeaufforderungen wurde gezeigt, dass mehrstufige HMI-Konzepte das Beenden von fahrfremden Tätigkeiten und damit die Übernahmezeit beschleunigen. Eine Vorschau auf geplante Übernahmeaufforderungen entlang der Route (basierend auf Informationen aus dem Safety Server) hilft Fahrern, fahrfremden Tätigkeiten selbst zu regulieren.
- Mit dem sogenannten Take-Over Controllability (TOC)-Rating wurde ein wissenschaftlich fundiertes Verfahren entwickelt, mit dem Kontrollierbarkeit von Übernahmesituationen in Probandenversuchen beim hochautomatisierten Fahren bewertet werden kann.
- Gemeinsam wurden Methoden und Werkzeuge für eine effiziente experimentelle Erprobung von hochautomatisierten Fahrfunktionen in der Simulation, auf Testgeländen sowie auf Autobahnen im öffentlichen Straßenverkehr entwickelt.

## 2 Projektidee, Zielsetzungen, Aufgabenstellung, Projektstruktur

Das Verbundprojekt Ko-HAF – kooperatives hochautomatisiertes Fahren – zielte auf den nächsten wesentlichen Schritt in Richtung autonomes Fahren, das hochautomatisierte Fahren. Hochautomatisierung ist dadurch charakterisiert, dass das Fahrzeug Längs- und Querführung übernimmt und der Fahrer das System nicht mehr dauerhaft überwachen, jedoch in der Lage sein muss, die Steuerung des Fahrzeugs nach Aufforderung mit einer gewissen Zeitreserve zu übernehmen.

Systeme der ersten Generation des hochautomatisierten Fahrens (HAF) adressierten den niedrigsten und niedrigen Geschwindigkeitsbereich in einfachen Verkehrssituationen wie dem Autobahnstau auf Basis bordautonomer Sensorik.

Die zweite Generation zu der u.a. Ko-HAF zählt, adressiert den höheren Geschwindigkeitsbereich auf gut ausgebauter Verkehrsinfrastruktur, um für diesen geläufigen Verkehrszustand Steigerungen von Sicherheit, Verkehrseffizienz und Komfort zu erreichen.

Dafür ist gegenüber der ersten Generation ein deutlicher technischer Innovationsschub erforderlich: Die Vorausschau für die Umfelderkennung muss drastisch erhöht werden. Dies erfolgte vor allem über eine aktuelle und hochgenaue digitale Karte. Erhöhte Vorausschau ist die Voraussetzung für das strategische Fahren im HAF-Betrieb. Es muss eine vorausschauende Information über Störfälle und fahrbare Geschwindigkeiten vorliegen.

In funktionaler Hinsicht umfasst HAF Generation 2 gegenüber HAF Generation 1 ein signifikant erweitertes Spektrum an Nutzerszenarien. Dies betrifft den erweiterten Geschwindigkeitsbereich (bis 130 km/h) genauso wie die höhere Komplexität der Szenarien. Ko-HAF bezog dabei damit nicht nur den Mensch mit ein, sondern auch lückenlose Transitionen zwischen unterschiedlichen Automatisierungsstufen.

In technischer Hinsicht repräsentieren die in Ko-HAF umgesetzte Backend-Lösung mittels Safety Server, die Datengewinnung im Fahrzeug einschließlich der Eigenlokalisierung und der Interaktion mit dem Safety Server sowie die Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMI) für kooperative Fahrzeugführung die zentralen Innovationen und Alleinstellungsmerkmale des Vorhabens.

Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal stellte die gemeinsame, experimentelle Erprobung der HAF-Funktionen auf Autobahnen im öffentlichen Verkehr dar. Hierzu wurde ein umfangreiches Streckennetz rund um Frankfurt am Main als Teststrecke definiert.

Die besonderen Herausforderungen in Ko-HAF ergaben sich aus

- der benötigten hohen Vorausschaureichweite der Umfeldwahrnehmung (der Ko-HAF Lösungsansatz so genannter kollektiver Perzeption basiert auf der Kommunikation der Fahrzeuge mit dem so genannten Safety Server),
- der erforderlichen präzisen Eigenlokalisierung im Fahrzeug zur Fusion der über die eigene Fahrzeugsensorik ermittelten Daten mit den über den Safety Server bereit gestellten Informationen,
- der Einbindung des Fahrers in das hochautomatisierte System (der Lösungsansatz besteht in einer Mensch-Maschine-Schnittstelle, die für Mode Awareness beim Fahrer und für eine vorausschauende und sicherere Fahrweise sorgt),
- den Funktionserweiterungen für hochautomatisiertes Fahren sowie aus
- der Absicherung und Erprobung des Gesamtsystems.

Um diese Herausforderungen zu erfüllen, wurden fünf Arbeitspakete eingeführt:

## **2.1 AP1 Safety Server (Umfelderfassung und -repräsentation im Backend)**

Die Reichweite der Fahrzeugsensorik ist prinzipiell auf ihren Sichthorizont beschränkt. Abschattungen durch Straßenverlauf und andere Fahrzeuge reduzieren zusätzlich die Vorausschau. Aus diesem Grund wurde die Umfelderfassung und -modellierung um den Schwerpunkt des Projekts, eine kollektive Wahrnehmung, erweitert. Sie erfolgte in Form einer Backend-Lösung mittels eines sogenannten Safety Servers.

Die Verfügbarkeit von aktuellen Informationen über eine präzise Karte mit Freigabe von Streckenabschnitten bzw. einzelnen Fahrspuren für HAF war eine wesentliche Voraussetzung für Ko-HAF. Die benötigte Vorausschau von mehr als 300 m bei höheren Geschwindigkeiten kann in den meisten Szenarien nur über kooperative Maßnahmen erreicht werden. Im Vorhaben wurde dazu eine Backend-Lösung mittels eines so genannten Safety Servers realisiert, der die Daten von HAF-Fahrzeugen (etwa Onboard-Sensordaten wie Präsenz und Qualität von Spurmarkierungen oder Objekte auf der Fahrbahn) sowie bereits heute verfügbare Verkehrsinformationen berücksichtigte und in eine fahrspurgenaue digitale Karte abbildete, so dass ein aktuelles, präzises Bild der Verkehrssituation entstand. Im Server und im Fahrzeug befanden sich eine geschichtete Karte: Die Änderungen zwischen der hochaktuellen Karte im Server und der Karte im Fahrzeug wurden über Mobilfunk übertragen und abgeglichen.

Die Projektpartner definierten die Schnittstellen zum Server gemeinsam und stellten Daten über Mobilfunk bereit, sodass im Server alle Daten zu einem Gesamtbild – der so genannten geschichteten Karte – verrechnet werden konnten. Die Aggregation der von allen Ko-HAF Fahrzeugen bereitgestellten Daten im Server und die Bewertung des Ergebnisses waren die zentralen zu erfüllenden Aufgaben. Die Menge der über die Mobilfunkschnittstelle (LTE/UMTS) zu übertragenden Daten wurde dabei so gering wie möglich gehalten.

An die einzelnen Fahrzeuge wurden dann konsolidierte Daten zurückgeliefert, die Fahrspuren für hochautomatisiertes Fahren qualifizierten oder z.B. Freiräume für mögliche Ausweichmanöver auswiesen. Die im Hinblick auf die Schnittstelle zwischen den Fahrzeugen und dem Server gewonnenen Projektergebnisse wurden erfolgreich in die relevanten Standardisierungsaktivitäten eingespeist (Spezifikation SENSORIS).

## **2.2 AP2 Frontend (Umfelderfassung und -repräsentation im Fahrzeug)**

### **Genauere Fahrzeuglokalisierung**

Neben den Umfeldinformationen sendete der Server zusätzlich die Geokoordinaten verschiedener Landmarken an die Fahrzeuge, welche dann im Fahrzeug zur genaueren Eigenlokalisierung genutzt werden konnten. Dies ermöglichte eine genaue Zuordnung aller relevanten Informationen im Fahrzeug zur Karte.

### **Fusion der Umfeldrepräsentation (lernende digitale Karte)**

In den Fahrzeugen wurden die über Mobilfunk eintreffenden Daten mit den Daten der eigenen Umfeldsensorik zu einem Gesamtbild verschmolzen. Dabei waren die Zuverlässigkeit der einzelnen Quellen sowie die Aktualität der Daten zu berücksichtigen. Die Fusion sowie die resultierende Umfeldrepräsentation in den Fahrzeugen stellten damit eine weitere Herausforderung dar. Bei Abweichungen zwischen Umfelderfassung im Fahrzeug und den Daten vom Server musste eine Rückkopplung dieser Abweichungen an den Server gesendet werden, damit die geschichtete Karte kontinuierlich aktualisiert werden konnte.

## **2.3 AP3 Kooperative Fahrzeugführung und kontrollierbare Automation**

Für diese verbesserten HAF-Systeme der zweiten Generation ist aufgrund der technischen Verbesserungen eine erheblich längere Dauer im hochautomatisierten Modus zu erwarten als bei Systemen der Generation 1, die häufiger und früher an ihre Grenzen kommen und den

Fahrer zur Übernahme auffordern. Ferner sind bei der zweiten HAF Generation deutlich höhere und auch komplexere kooperative Interaktionen mit anderen Fahrzeugen zu realisieren (etwa beim Auf-/Abfahren auf/von Autobahnen etc.).

Die längere Automatisierungsdauer und die komplexeren automatisierten Fahrmanöver bedeuten für den Fahrer Vorteile. Sie stellen aber im Vergleich zu HAF-Systemen der ersten Generation aus Sicht der Ergonomie einen Paradigmenwechsel dar, der eine erneute Betrachtung der Kontrollierbarkeit dieser Systeme verlangt. Auch die Interaktionskonzepte, die dem Fahrer den aktuellen Automationsmodus und die Intentionen der anderen HAF-Fahrzeuge verdeutlichen, erhalten nochmals eine wesentlich höhere Bedeutung. Daher war ein geeignetes Mensch-Maschine-Interface zu entwickeln, wobei besonderer Wert auf die Gestaltung der Fahrerübergaben (Transitionen) zu legen war, so dass auch zwischen Fahrer und hochautomatisiertem Fahrzeug eine entsprechende Kooperation realisiert ist.

Aufgrund des hohen Automationsgrades bei HAF-Systemen der zweiten Generation und der längeren Dauer des hochautomatisierten Fahrens kommt dem Fahrereingriff in Sondersituationen eine außerordentlich hohe Bedeutung zu, weshalb auch die Fahrerinteraktionen vor, während und nach einem Noteingriff untersucht wurde. Generell ist im Sinn der Kooperation und für eine erfolgreiche Transition vom System hin zum Fahrer von zentraler Bedeutung, dass der Fahrer verfügbar ist. Sowohl bekannte Automationseffekte (Hypovigilanz, Mode Confusion), die durch monotone Aufgaben befördert werden, als auch Ablenkungsphänomene durch die Bearbeitung von bisher tertiären Tätigkeiten (z.B. Infotainment-Applikationen) verändern die Verfügbarkeit des Fahrers. Ein HAF-System der zweiten Generation sollte also diesem Phänomen durch geeignete technische Maßnahmen Rechnung tragen.

## **2.4 AP4 Funktionsentwicklung für Normal- und Notbetrieb**

Die kollektive Perzeption erlaubt den Fahrzeugen eine vorausschauende und komfortable Fahrweise. Die automatisierten Funktionen können durch die weitere Vorausschau frühzeitiger und sicherer eingreifen. Hastige Übergabemanöver oder Notbremseingriffe sollten seltener vorkommen. Unfälle im Automations- oder Transitionsbetrieb werden unwahrscheinlicher und die Automation sicherer.

Im Projekt sollten insbesondere folgende Funktionen für HAF Generation 2 entwickelt und evaluiert werden: Der vorausschauende Umgang mit Gefahrenstellen, automatisiertes Einfädeln, das Durchfahren von Autobahnkreuzen, die Berücksichtigung bekannter Baustellen sowie der Notbetrieb zum Überführen des Fahrzeugs in den sicheren Zustand.

## **2.5 AP5 Absicherung – Erprobung und Validierung**

Für die Absicherung von HAF-Funktionen der zweiten Generation sind geeignete Systemstrukturen und Systemtests zu spezifizieren und durchzuführen. Bisher lagen hierfür keine Erfahrungen vor. Wichtig waren daher die Erarbeitung einer generellen Methode zur Absicherung von HAF einschließlich möglicher Sondersituationen sowie die Betrachtung unterschiedlicher Bewertungstools (Simulation, Hardwaretests etc.).

Um Systeme der zweiten Generation HAF bewerten zu können, die gemeinsam über einen Server verbunden sind, ist ein firmenübergreifender Test der Systeme idealerweise im echten Straßenverkehr, abgesichert durch Sicherheitsfahrer, erforderlich. Dies sollte im Projekt erstmalig mit mehreren Fahrzeugen unterschiedlicher Hersteller erfolgen, die im gemischten Verkehr auf den Autobahnen des Testgebiets erprobt werden sollten. Jeder Partner, der Versuchsträger stellte, sollte sich deshalb an diesen gemeinsamen Tests beteiligen.

### 3 Herausforderungen, untersuchte Methoden, Ergebnisse

#### 3.1 AP1 Safety Server (Umfelderfassung und -repräsentation im Backend)

In Ko-HAF wurde der Ansatz des kooperativen hochautomatisierten Fahrens verfolgt. Zu diesem Zweck war es das erklärte Ziel des AP1, zur Unterstützung der Fahrfunktion einen sogenannten Safety Server zu entwickeln und dem für das Fahrzeug-Frontend verantwortlichen AP2 zur Verfügung zu stellen. Diese enge Kopplung ist in der nachfolgenden Abbildung 1 schematisch dargestellt:

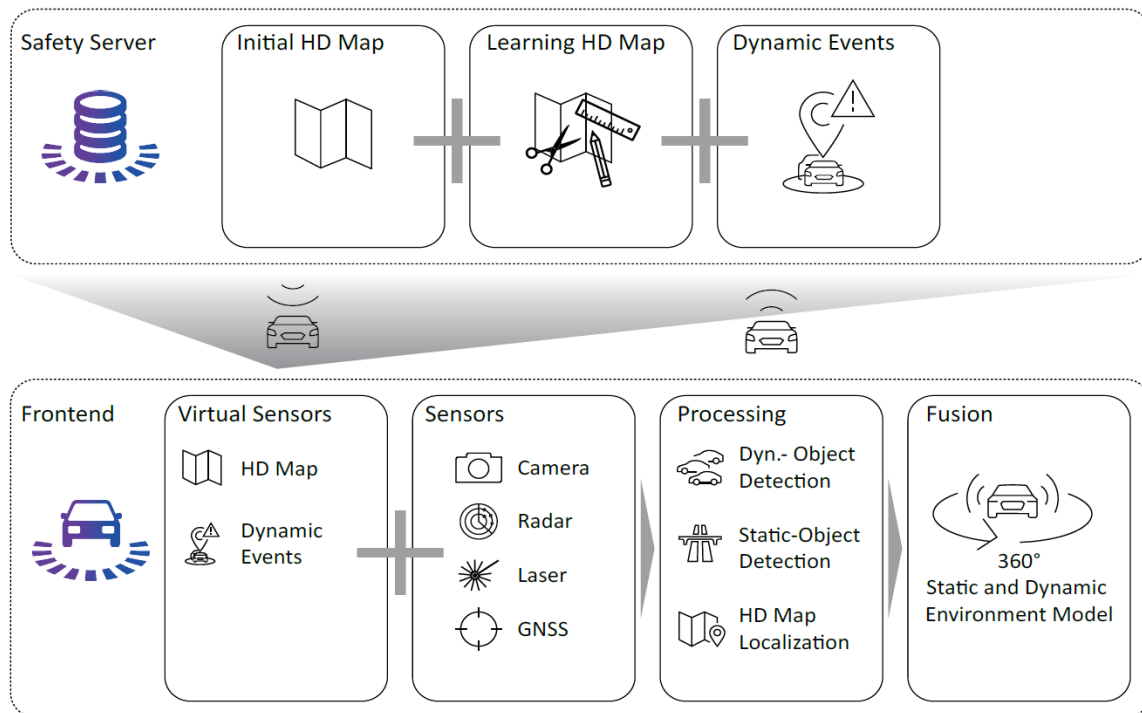


Abbildung 1: Schematische Übersicht AP1 und AP2.

Zur Bewältigung der dafür notwendigen Arbeiten war das AP1 dabei in die folgenden drei Unterarbeitspakete geteilt:

- UAP1.1 hatte die Spezifikation und Realisierung des Safety Servers zum Inhalt. Dabei wurden beispielsweise Anforderungen an den Server erfasst, eine geeignete Architektur spezifiziert und schließlich in einer Implementierung umgesetzt.
- UAP1.2 zielte auf die oben dargestellte Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Safety Server ab. In diesem Zusammenhang wurden in enger Kooperation mit AP2 beispielsweise Definitionen von Nachrichteninhalten und -formaten für statische und dynamische Kartendaten erarbeitet und in einen prototypischen Betrieb für Feldversuche geführt.
- UAP1.3 bündelte schließlich Arbeiten um eine für das automatisierte Fahren geeignete Grundkarte zu erfassen und weiterhin eine sogenannte „lernende Karte“ – eine Karte die auf Basis von Fahrzeugdaten aktuell gehalten wird – zu entwickeln.

Nachfolgend sind die Herausforderungen, Vorgehensweisen und Ergebnisse nach diesen drei Unterarbeitspaketen gegliedert aufgeführt.

##### 3.1.1 UAP1.1 Spezifikation und Realisierung des Safety Servers

In diesem UAP wurden die Anforderungen an die Infrastruktur und die Software des Safety Servers erhoben und auf dieser Grundlage entsprechende Spezifikationen erstellt. Des

Weiteren wurde der Safety Server nach dieser Spezifikation realisiert, in Betrieb genommen und für Feldversuche genutzt. Im Rahmen dieses UAP wurden daher hauptsächlich die nachfolgenden Aspekte bearbeitet:

- Spezifikation zu verwendenden Kartenattributen
- Spezifikation und Aufbau Ko-HAF Versuchszentrale
- Technische Basis für die Realisierung des Safety Servers
- Datenmodell im Safety Server
- Kartenschichten im Safety Server
- Architektur für Aggregationsverfahren im Safety Server
- Implementierung der Safety Server SW für Import, Persistierung und Zugriff auf Kartenschichten
- Implementierung der Verarbeitung von MDM-Daten
- Visualisierung der Kartendaten
- Qualität von Verkehrsdaten
- Datenschutz für den Safety Server

Der nachfolgende Abschnitt dieses Kapitels beschreibt den Ablauf der Bearbeitung sowie die Ergebnisse.

#### 3.1.1.1 T1.1.1 Anforderungsanalyse und Spezifikation der Architektur

Der Ko-HAF Safety Server spielt eine zentrale Rolle in Ko-HAF selbst und in AP1, da er einerseits hochgenaue Kartendaten an die Ko-HAF Testfahrzeuge ausliefert (wo diese zur Realisierung der HAF-Funktion verwendet werden) und andererseits die Umgebungsdaten der Fahrzeuge entgegennimmt, um sie zwecks Aktualisierung dieser Grundkarte zu verarbeiten.

Im Rahmen der Anforderungsanalyse des Safety Servers wurde daher zunächst mit der Fragestellung begonnen, wie die Architektur des Safety Servers beschaffen sein muss, um diese Aufgabe zu erfüllen. Dazu wurde folgende Schnittstellensicht erarbeitet:



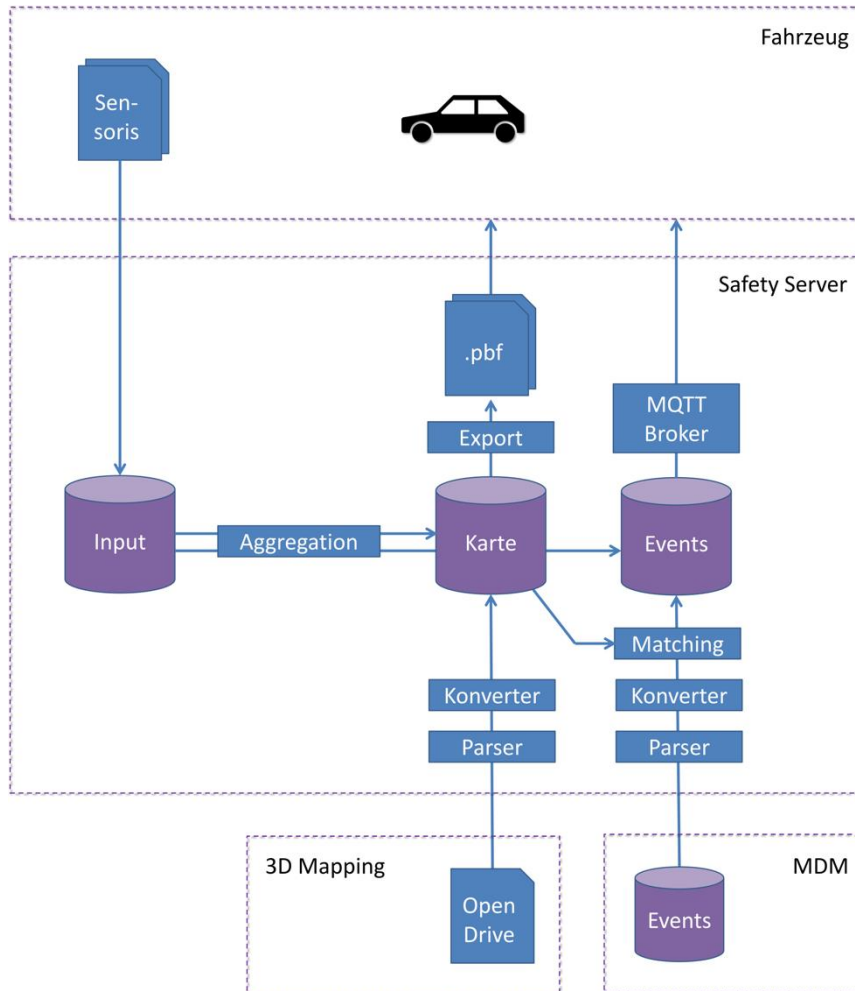


Abbildung 2: Schnittstellen des Ko-HAF-Safety Servers.

Wie in Abbildung 2 dargestellt, verwaltet der Safety Server Kartendaten aus unterschiedlichen Datenquellen in dedizierten Datenbanken (in violett dargestellt):

- Karten-Datenbank:** Zentrale Datenbank für die initial aufgenommene Grundkarte des Ko-HAF-Testgebietes. Die hier gespeicherte sogenannte geschichtete Karte ist eine hochgenaue Planungs- und Lokalisierungskarte, die für die HAF-Funktion benötigt wird. Diese Karte wurde im Format OpenDrive bereitgestellt und in ein internes Datenbankformat konvertiert. Mehr Informationen zur Beschaffenheit dieser Karte (Attribute, Erläuterung zum Format etc.) sind im zugehörigen Kapitel 3.1.3 beschrieben. Die Karte wurde in Ko-HAF in einem selbst definierten Format auf Basis der Google Protocol Buffers (Protobuf)<sup>1</sup> an die Fahrzeuge ausgeliefert. Mehr Details dazu werden in Kapitel 3.1.2 erläutert.
- Input-Datenbank:** Für Ko-HAF zentral ist der kooperative Ansatz, bei dem die Fahrzeuge der Flotte nicht nur Nutznießer der Kartendaten des Servers sind, sondern durch das Hochladen ihrer eigenen Sensorwahrnehmung zur Verbesserung dieser Karte beitragen (Crowd-sourced Ansatz). Entsprechend wird auf dem Safety Server eine Datenbank vorgehalten, die diese Fahrzeugnachrichten persistiert, so dass sie von Aggregationsverfahren verarbeitet werden können. Neben den Beobachtungen zu statischen Straßenelementen, werden in Ko-HAF auch Informationen zu dynamischen Ereignissen wie Stau und Liegenbleiber aus der Flotte an den Safety Server gesendet und dort gespeichert. Dazu wird eine in Ko-HAF angepasste Version des SENSORIS-Formats

<sup>1</sup> <https://developers.google.com/protocol-buffers/>

verwendet. Weitere Informationen zur Beschaffenheit der Daten sind in Kapitel 3.1.2 zu finden und Informationen zur Verarbeitung dieser Daten in Kapitel 3.1.3.

- **Events-Datenbank:** Neben der einmal eingefahrenen statischen Karte, werden in Ko-HAF auf dem Safety Server auch Daten zu dynamischen Ereignissen (Staus etc.) aus der MDM-Plattform für Verkehrsdaten<sup>2</sup> bezogen, konvertiert, auf die Grundkarte bezogen und an die Ko-HAF-Fahrzeuge ausgeliefert.

Die Architektur des Safety Servers wurde so definiert, dass diese Schnittstellen bedient werden konnten. Dazu wurde auf die NOMAD-Plattform gesetzt. Diese Plattform-Software basiert hauptsächlich auf der Nutzung der Technologien Spring Framework, Hibernate, Apache Karaf und PostgreSQL/PostGIS.

### 3.1.1.2 T1.1.2 Spezifikation der zu verwendenden Daten und der Serverfunktionalität

Neben Anforderungen an Architektur und Realisierung des Safety Servers, wurden auch Anforderungen an die auszuliefernden Kartendaten ermittelt. Die gemeinsam zwischen AP1, AP2 und AP4 erstellte Anforderungsanalyse erhob dabei auch partnerindividuelle Wünsche an Karteninhalte und deren Priorisierung. Hierbei wurden neben Feature-Klassen auch deren Attribute, Dimension und Genauigkeit festgelegt.

Diese Analyse diente als Grundlage für das Datenbankmodell, der in den Schnittstellen zum Fahrzeug verwendeten Datenformate, sowie der benötigten Module für das Einbinden der erforderlichen Datenquellen.

Um den initialen, von 3D Mapping im OpenDRIVE-Format bereitgestellten Datenbestand in die Kartendatenbank einzupflegen, wurde neben einem generischen Parser für das Format ein Modul zur Umwandlung der Daten in das zuvor spezifizierte Datenbankschema entwickelt. Dabei werden die Daten an die Bedürfnisse in Ko-HAF angepasst und etwa von Relativ- in Globalbezüge umgerechnet. Im Ko-HAF-Datenmodell benötigte Elemente, die nicht explizit im OpenDRIVE-Datensatz modelliert sind, werden aus diesem abgeleitet, beispielsweise der Konnektivitätsgraph auf Spurebene oder die Fahrtrichtung einer Fahrbahn.

Das Importmodul unterstützt die für Ko-HAF verwendete Teilmenge des OpenDrive-Standards. Dazu zählt die hochgenaue Straßengeometrie – Links, Spuren, Fahrbahnbegrenzungen und Markierungselemente – inklusive Höhenverlauf, Attributen und Wechselmöglichkeiten zwischen diesen Komponenten, zum anderen Punkt-, Linien- und Flächenelemente im Fahrbahnumfeld. Diese Objekte sind jeweils in einen semantischen und räumlichen Bezug zur Straßengeometrie gesetzt.

Kurven aus den Eingangsdaten werden während des Imports unter Beibehaltung der hohen Genauigkeitsanforderungen approximiert und als Kreisbögen abgespeichert. Hierfür wurde das von FORWISS entwickelte SMAP-Verfahren ausgebaut, um die Stabilität und Performance bei den in Ko-HAF anfallenden Datenmengen zu verbessern. SMAP erzeugt einen glatten Kreisbogenspline, der unter Einhaltung einer frei wählbaren Maximaltoleranz eine minimale Segmentzahl aufweist. Neben der kompakten Repräsentation ist die Modellierung mit Kreisbogensplines auch für häufig benötigte Berechnungen wie die Krümmung einer Kurve, den Abstand eines Punkts zur Kurve oder die Bildung von Offsetkurven sehr effizient.

Um weiterhin die im Projekt von Hessen Mobil bereitgestellten dynamischen Ereignisse im Server verfügbar zu machen, wurde Funktionalität zum abgesicherten Zugriff auf die Plattform MDM (Mobilitätsdatenmarktplatz) und zum Parsen der in Datex II kodierten Ereignisse implementiert.

Da die von Hessen Mobil bereitgestellten Ereignismeldungen mittels Alert-C verortet werden, war es außerdem erforderlich, die Ko-HAF-Kartendatenbank mit Locations auf Basis der aktuellen LCL-Tabelle zu ergänzen und die Verbindungen zwischen LCL-Locations auf dem Ko-HAF-Straßengraphen zu errechnen (vgl. Abbildung 3). Dies erlaubt der Basissoftware des

---

<sup>2</sup> <https://www.mdm-portal.de/>

Safety Servers die Verortung von punktuellen und linearen Ereignissen auf den Ko-HAF-Kartendaten.

Um die Möglichkeit zur Durchführung längerfristiger und reproduzierbarer Tests sicherzustellen, wurden relevante MDM-Meldungen während der Projektlaufzeit archiviert.

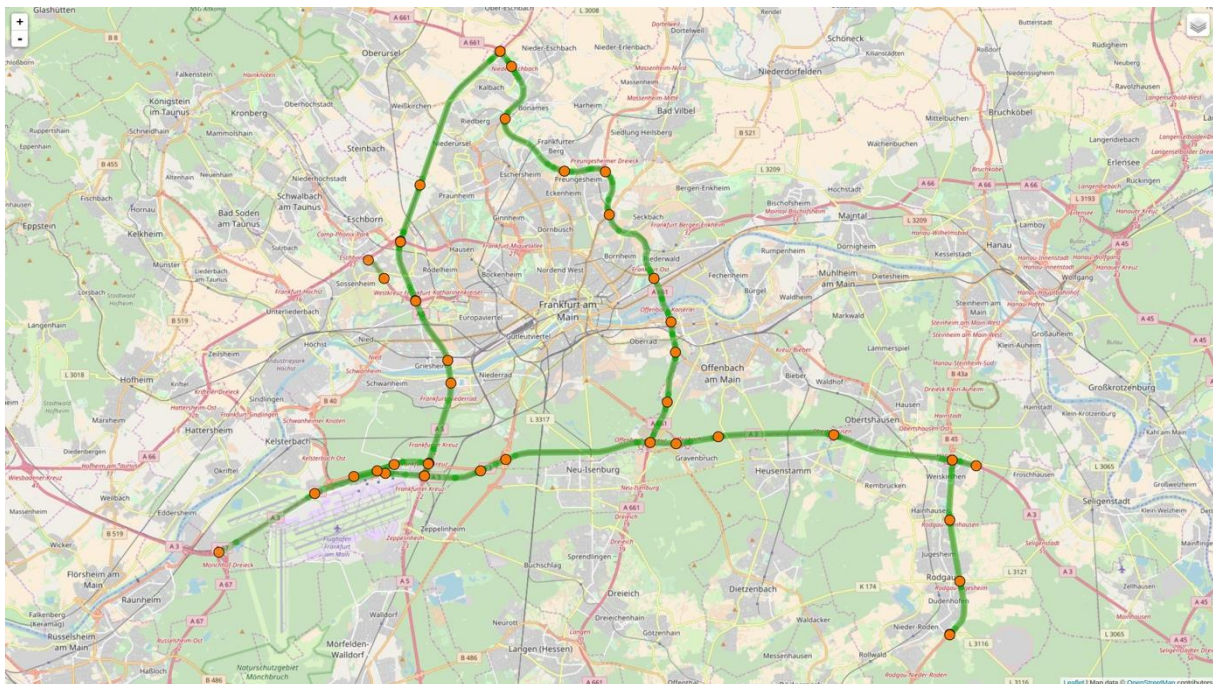


Abbildung 3: Auf Ko-HAF-Kartendaten lokalisierte LCL-Punkte und Verbindungen

Neben der technischen Ausgestaltung des Safety Servers besteht die generelle Herausforderung darin, die ausgetauschten Daten und Informationen mit einer hohen Qualität auszustatten, um Sicherheit und Zuverlässigkeit für das hochautomatisierte Fahren zu gewährleisten.

Dafür wurde zunächst ein Grundverständnis für die zugehörigen Qualitätsanforderungen geschaffen. Die BAST hat dafür ein „Qualitätsmodell“, als Ansatz zur einheitlichen Beschreibung und Bewertung der Datenqualität in Ko-HAF, entworfen. Das Qualitätsmodell umfasst Definitionen und Konzepte zu folgenden drei Ebenen:

- Qualitätsmerkmale
- Qualitätsanforderungen
- Qualitätsmethoden

Die Inhalte basieren auf Bezügen und Erfahrungen aus der AP1-Entwicklung. Beispielsweise wurde die „Datenaktualität“ als Qualitätsmerkmal an verschiedenen Schnittstellen des Safety Servers referenziert.

Das „Qualitätsmodell“ wird in einem separaten Bericht<sup>3</sup> mit folgenden Aspekten dokumentiert:

- Grundlagen (qualitätsrelevante Parallelprojekte, Qualitätsaspekte in der Datenstandardisierung, Umfrageergebnisse zu individuellen Qualitätsanforderungen der Ko-HAF-Partner)
- Konzeptionelle Inhalte für die o.g. drei Ebenen
- Fazit und Ausblick auf offenstehende Fragestellungen

Nach erster Erkenntnis ist das vorliegende „Qualitätsmodell“ ein guter Ausgangspunkt für eine einheitliche Herangehensweise zur Qualität von Daten-Ökosystemen des hochautomatisierten

<sup>3</sup> Verbundpartner Ko-HAF: „Qualitätsmodell für Daten und Informationen in Ko HAF“, 2018

Fahrens, bedarf jedoch weiterer Validierungen und Festlegungen seitens der beteiligten Akteure.

Einen weiteren wichtigen Aspekt im Kontext des Datenaustauschs zwischen automatisierten Fahrzeugen und dem Safety Server (siehe Kapitel 3.1.2) stellt der Datenschutz dar, insbesondere hinsichtlich personenbeziehbarer Daten.

Zur Sensibilisierung des Themas und zur Herleitung von datenschutzgerechten Lösungsansätzen hat die BASt mehrere Workshops mit den Ko-HAF-Projektpartnern veranstaltet.

Der erste Datenschutz-Workshop (14. November 2016 bei der BASt) umfasste die Aufbereitung und Diskussion der datenschutzgerechten Ausgestaltung des im Mittelpunkt des Projekts stehenden Safety Servers. Dabei lieferte die rechtliche Analyse vor allem relevante Informationen, die bei weiteren technischen Ausgestaltungen von Nutzen sein können. Nicht zuletzt diente der Workshop dazu, gemeinsam zu identifizieren, welchen weiteren Fragen sich die Partner bei den Ausgestaltungen spezifisch im Projekt zu stellen haben. Der Workshop diente als Denkanstoß für kreative Lösungsansätze. Vor allem ging es um datenschutzrechtliche Aspekte, die Erhebung personenbezogener bzw. personenbeziehbarer Daten. Exemplarisch wurde festgestellt, dass der Standort von Nutzern im Backend mitverarbeitet wird. Die Rückverfolgbarkeit des Ortsbezuges eines Nutzers kann damit zu datenschutzrechtlichen Problemen führen.

Auf Basis des ersten Workshops wurden Lösungsansätze zum Umgang mit personenbeziehbaren Daten skizziert. Hinsichtlich des Problems der Erhebung personenbezogener Daten wurde resümiert, dass die Pseudonymisierung, entgegen einer breiten Auffassung, nur bedingt hilft. In naher Zukunft wird sich zur Behebung des Problems durchaus ergeben können, dass eine Lösung letztlich nur über Maßnahmen, bspw. die Vergabe einzelner Pseudonyme an kleine Gruppen von Nutzern den Personenbezug, auflösen könnte. Pseudonymisierung wird daher nicht die Lösung darstellen, zumindest aber eine erste Anforderung bleiben. Basierend auf den Ergebnissen des ersten datenschutzrechtlichen Workshops wurden im weiteren Projektverlauf datenschutzgerechte Lösungsansätze zur Verarbeitung personenbezogener Daten entwickelt.

In Vorbereitung auf den zweiten Datenschutzworkshop und zwecks Sensibilisierungen zu Gunsten einer datenschutzfreundlichen Ausgestaltung der AP1-Funktionen, wurden die aktuellen Initiativen zum Datenschutz im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens zusammengetragen und vorgestellt.

Konkrete Initiativen sind die Folgenden:

- Digitale Agenda 2014-2017 der Bundesregierung
- Symposium zum Datenschutz im automatisierten und vernetzten Fahrzeug, initiiert durch die Bundesbeauftragte für Datenschutz und Informationsfreiheit
- Arbeiten auf Ebene der Vereinten Nationen, innerhalb der Arbeitsgruppe 29 der UN-Wirtschaftskommission für Europa bzgl. der Anpassung technischer Regelungen für automatisierte und vernetzte Fahrfunktionen
- C-ITS Plattform der Europäischen Kommission bzgl. der Entwicklung eines abgestimmten Vorgehens für eine EU-weite Einführung kooperativer Systeme
- Tätigkeitsbericht (2015 / 2016) der Bundesbeauftragten für Datenschutz und Informationsfreiheit
- Zukunftsforum Datensouveränität, initiiert durch das Ministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur

Aufgrund des herrschenden Konfliktes zwischen dem Datenschutz und der Nutzung von Daten zur effizienten, sicheren und umweltverträglichen Verwendung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge, wurden unterschiedliche Veranstaltungen besucht und die divergierenden Meinungen gesammelt. Diese wurden dem AP1-Konsortium vorgestellt, um zu einer möglichst konsensnahen Konzeption der Ko-HAF-Funktionen zu animieren.

Im 2. Datenschutzworkshop (19. April 2018 bei der BASt) wurden datenschutzrelevante Fragen zur Datenerhebung und -verarbeitung mit den Ko-HAF-Projektpartnern vertieft diskutiert. Wesentlicher Ansatzpunkt dieses Workshops waren Neuerungen der rechtlichen Rahmenbedingungen, insbesondere in Bezug auf die DSGVO. Das Datenschutzrecht hat sich aufgrund der neuen Rechtslage zwar nicht grundlegend verändert, jedoch sind bereits vormals empfehlenswerte Instrumente wie datenschutzgerechte Technikgestaltung (Privacy-by-design) und Datenschutz-Folgeabschätzung (Privacy Impact Assessment) jetzt verpflichtend und waren damit für Ko-HAF von einiger Bedeutung. Es bedarf damit einer Einführungsstrategie aus rechtlicher Perspektive.

Basierend auf den Ergebnissen des ersten Datenschutzworkshops wurden nun die absehbaren technischen Abläufe zusammengestellt und hinsichtlich datenschutzrechtlicher Implikationen analysiert. Als thematische Grundlagen des Workshops dienten ein Einführungsvortrag zur DSGVO seitens der BASt sowie ein Kurzbericht der Ko-HAF-Projektpartner zum aktuellen technischen Arbeitsstand. Danach wurden in einer Gruppenarbeit drei Szenarien bzw. Anwendungsfälle zur gemeinsamen Ableitung von datenschutzgerechten Lösungsansätzen in Ko-HAF angegangen:

- Datenpass
- Technische Auslegung des Safety Servers
- Verwendung von „Identifiern“

Als Erkenntnis bleibt festzuhalten, dass das Projekt Ko-HAF auf die technische Entwicklung konzentriert ist. Für die Umsetzung im Projekt ergaben sich auch keine relevanten Einschränkungen durch datenschutzrechtliche Anforderungen. Für eine dauerhafte, flächendeckende Einführung des hochautomatisierten Fahrens sollten jedoch geeignete, datenschutzgerechte Lösungsansätze weiterentwickelt und in die technische Gesamtarchitektur implementiert werden.

### 3.1.1.3 T1.1.3 Entwicklung der Basissoftware sowie Aufbau und Inbetriebnahme des Safety Servers

In Ko-HAF stand neben der theoretischen Betrachtung der Themen auch eine Erprobung der Verfahren im Fokus. Daher wurde im Rahmen des Projektes der Safety Server – wie in Abbildung 2 definiert – realisiert und in Betrieb genommen. Die dafür erforderliche Basissoftware wurde innerhalb dieses Unterarbeitspaketes entwickelt und in der zuvor beschriebenen Ko-HAF Versuchszentrale in Betrieb genommen. Als Ko-HAF Basissoftware werden dabei insbesondere die zur Realisierung der in Abbildung 2 dargestellten Komponenten benötigte Software, sowie die Software für den Betrieb der zur Fahrzeug-Server-Kommunikation ausgelegten AP1-Box bezeichnet. Letztere ist im Rahmen des UAP 1.2 entwickelt worden und wird in Kapitel 3.1.2 beschrieben.

Zusätzlich sind zur Stützung der Feldversuche und Demonstrationen weitere Softwarekomponenten entstanden, die beispielsweise die Anzeige und Filterung der Fahrzeugdaten erlauben.

Zu Beginn der Implementierungsphase verständigten sich die an der Entwicklung beteiligten Partner zunächst mit einer informellen Teststrategie auf einen gemeinsamen Mindestkonsens über die geplante Vorgehensweise. Hierzu zählten die Erstellung von Unit- und Regressions-tests zur Validierung der Serversoftware, die Nutzung von GitLab und der Einsatz von Continuous-Integration-Techniken.

Die Implementierungen der Software wurden grundsätzlich in der zuvor beschriebenen NO-MAD-Plattform durchgeführt. Einige Komponenten sind jedoch bewusst so ausgeführt worden, dass sie unabhängig vom Safety Server lauffähig waren. Weiterhin wurde zusätzlich ein Installationsskript entwickelt, um eine vereinfachte Installation eigener Instanzen der Safety Server Software, etwa zum Testen von Aggregationsalgorithmen, zu ermöglichen.


Zum Import der statischen Ko-HAF Basiskarte aus dem OpenDrive-Format wurde zunächst ein Importer entwickelt, der die Karte in das zu Beginn des Kapitels beschriebene Format

konvertiert. Zusätzlich wurde die ebenso zu Beginn des Kapitels beschriebene Funktionalität zum Import von dynamischen Ereignissen aus der Datenquelle MDM benötigte Software implementiert. Die so nun auf dem Safety Server verfügbaren Kartendaten konnten nun einerseits von den in UAP 1.3 entwickelten Aggregationsalgorithmen verarbeitet werden, also auch den Fahrzeugen zur Verfügung gestellt werden. Da sich letztere Funktionalität hauptsächlich auf die Kommunikation zwischen Ko-HAF-Flotte und Safety Server bezieht, finden sich weitere Informationen zur Spezifikation und Realisierung im nachfolgenden Kapitel.

Zur Unterstützung des Entwicklungsprozesses, der vereinfachten Durchführung von Fahrversuchen und der Ergebnispräsentation im Rahmen von Zwischen- und Abschlusspräsentation wurden außer der Kernfunktionalität auch einige zusätzliche Werkzeuge umgesetzt – teils als Features des Safety Servers, teils als eigenständige Software.

Viele dieser Werkzeuge sind über eine projektinterne Statusseite des Safety Servers zugänglich. Sie ermöglichte den Fahrzeugbetreibern in Ko-HAF eine Überprüfung der von Versuchsfahrzeugen hochgeladenen Daten. Kernbestandteil dieser Statusseite ist ein tabellarischer Überblick über die hochgeladenen Daten (vgl. beispielhaft Abbildung 4), von der aus Funktionalität etwa für den manuellen Eingriff in die gespeicherten Ereignismeldungen und hochgeladenen Fahrzeugbeobachtungen, den Einblick in automatisch erstellte Fehlerberichte und die grafische Darstellung der Datensätze erreichbar war.



 **Uploadservice Status Page**  
Successful imports























































ID	Vehicle Profile ID	Transient Vehicle ID	Submitter	Number of messages	Minimum upload timestamp	Maximum upload timestamp	Minimum data timestamp	Maximum data timestamp	Actions
<input type="checkbox"/> 31	9901	1509711640	OTH_AP1Box	79	2017-11-03 13:20:31.91	2017-11-03 13:21:09.438	1970-01-01 01:00:00.0	2017-11-03 13:22:18.772	  
<input type="checkbox"/> 45	2020	1428	BMW	111	2017-11-06 14:30:30.75	2017-11-06 14:40:22.574	2017-11-07 00:25:35.738	2017-11-07 00:35:26.083	  
<input type="checkbox"/> 29	9901	1509709965	OTH_AP1Box	946	2017-11-03 12:52:37.526	2017-11-03 12:59:09.163	1970-01-01 01:00:00.0	2017-11-03 13:00:18.489	  
<input type="checkbox"/> 32	9901	1509713018	OTH_AP1Box	519	2017-11-03 13:43:33.969	2017-11-03 13:47:26.707	1970-01-01 01:00:00.0	2017-11-03 13:48:36.644	  
<input type="checkbox"/> 72	9102	1512074159	OTH_AP1Box	3342	2017-11-30 21:34:28.228	2017-11-30 21:55:27.89	1970-01-01 01:00:00.0	2017-11-30 21:58:02.593	  
<input type="checkbox"/> 59	9901	1510733784	OTH_AP1Box	534	2017-11-15 09:18:30.966	2017-11-15 09:29:07.404	2017-11-15 09:17:06.733	2017-11-15 09:28:24.427	  
<input type="checkbox"/> 60	9901	1510735918	OTH_AP1Box	46	2017-11-15 09:54:05.659	2017-11-15 09:54:55.633	2017-11-15 09:52:09.317	2017-11-15 09:54:12.904	  
<input type="checkbox"/> 16	4001	3844	Conti	27	2017-10-25 13:39:03.259	2017-10-25 13:40:19.671	2017-05-29 14:40:52.694	2017-05-29 14:41:59.487	  
<input type="checkbox"/> 11	4001	2616	Conti	40	2017-10-25 13:28:41.787	2017-10-25 13:30:41.133	2017-02-13 12:16:45.986	2017-02-13 12:18:31.659	  
<input type="checkbox"/> 81	9000	1512982763	Test	46	2017-12-11 09:59:33.118	2017-12-11 10:02:38.16	2017-11-07 16:56:26.001	2017-11-07 16:58:09.711	  
<input type="checkbox"/> 83	9000	1512984987	Test	69	2017-12-11 10:37:42.255	2017-12-11 10:42:39.101	2017-11-07 09:34:15.961	2017-11-07 09:36:36.281	  
<input type="checkbox"/> 57	9101	1510731260	OTH_AP1Box	457	2017-11-15 08:34:06.955	2017-11-15 08:42:10.105	1970-01-01 01:00:00.0	2017-11-15 08:42:08.604	  
<input type="checkbox"/> 56	9901	1510128276	OTH_AP1Box	2397	2017-11-08 09:04:27.149	2017-11-08 09:22:41.174	1970-01-01 01:00:00.0	2017-11-08 09:23:52.143	  
<input type="checkbox"/> 61	9902	1511251870	OTH_AP1Box	249	2017-11-21 09:10:59.628	2017-11-21 09:12:43.518	1970-01-01 01:00:00.0	2017-11-21 09:13:56.806	  
<input type="checkbox"/> 44	2020	1155	BMW	118	2017-11-06 11:56:51.715	2017-11-06 12:04:01.882	2017-11-06 21:51:35.61	2017-11-06 21:59:09.718	  
<input type="checkbox"/> 87	1000	1515608424	AUDI AG	69	2018-01-10 19:20:39.597	2018-01-10 19:25:51.213	2017-11-07 10:36:14.011	2017-11-07 10:38:39.681	  
<input type="checkbox"/> 86	1000	1515607216	AUDI AG	85	2018-01-10 19:01:10.079	2018-01-10 19:17:52.541	2017-11-07 10:23:06.011	2017-11-07 10:31:31.771	  
<input type="checkbox"/> 76	9602	1512740691	OTH_AP1Box	2907	2017-12-08 14:44:33.499	2017-12-08 15:04:06.064	1970-01-01 01:00:00.0	2017-12-08 15:05:17.629	  

Abbildung 4: Statusseite Upload Safety Server.

Weiterhin wurde eine modulare Visualisierung der Kartendatenbank des Safety Servers in QGIS<sup>4</sup> realisiert (siehe Abbildung 5). Diese erlaubt das Betrachten des gesamten Kartendatenbestands des Ko-HAF-Projekts vor dem Hintergrund von Luftaufnahmen oder anderem Kartenmaterial, das zum Vergleich der erreichten Genauigkeit dient. Die einzelnen Datentypen der geschichteten Karte können abhängig von den Anforderungen des Betrachters separat eingblendet oder mit einer individualisierten Kartensignatur versehen werden. Nicht zuletzt ermöglicht die Karte dem Benutzer einen interaktiven Zugriff auf die zugrundeliegenden Kartendaten eines selektierten Objekts.

Auf der Zwischenpräsentation wurde mit dem browserbasierten virtuellen Globus Cesium<sup>5</sup> ein Frontend auf Grundlage dieser Visualisierung präsentiert (siehe Abbildung 6), das auch Laien eine interaktive Erkundung der Karte erlaubt.

Schließlich wurde eine Visualisierung der bereitgestellten Ereignismeldungen zu dynamischen Ereignissen und der Positionen der Versuchsfahrzeuge als eigenständige Tools auf Basis von Websockets implementiert.

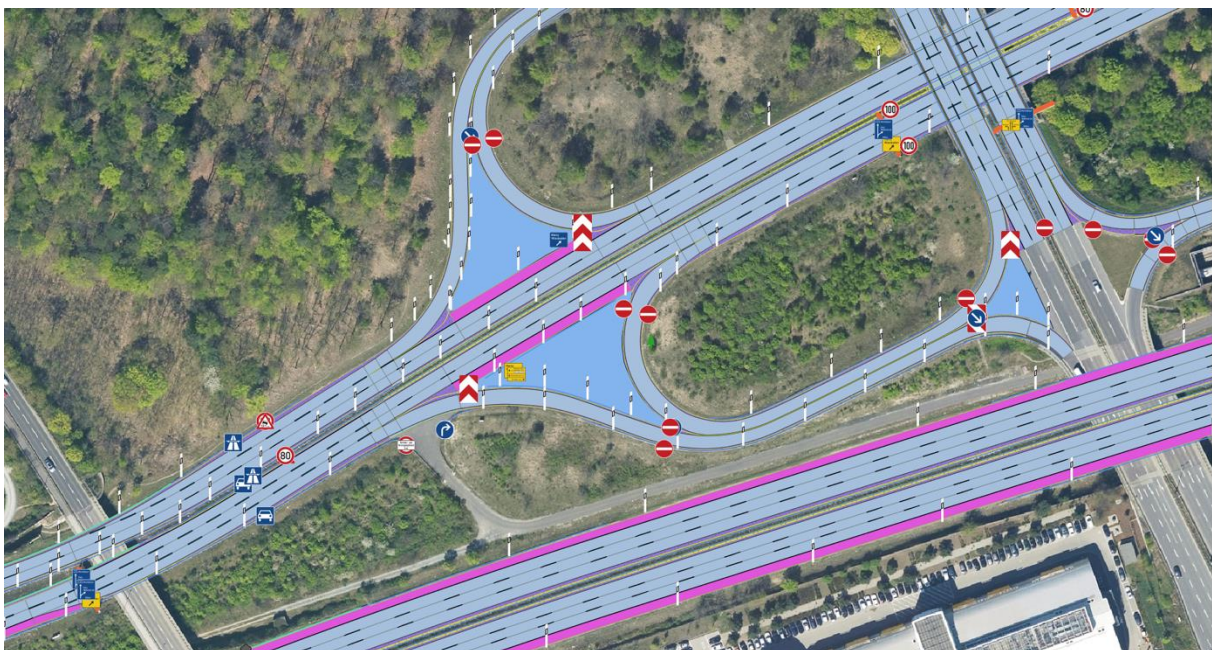


Abbildung 5: Visualisierung der geschichteten Karte in der Serverdatenbank.

<sup>4</sup> <https://qgis.org>

<sup>5</sup> <https://cesiumjs.org/about/>





Abbildung 6: Interaktive 3D-Darstellung der Kartenvisualisierung mit Cesium.

### 3.1.2 UAP1.2 Kommunikation zwischen Backend und Frontend

In diesem UAP wurden die Kommunikationsmechanismen zwischen Fahrzeugen und Server definiert und es wurde eine prototypische Kommunikationseinheit zum Verbau in den Versuchsfahrzeugen realisiert. Der Schwerpunkt in diesem UAP wurde daher auf die Bearbeitung der nachfolgenden Aspekte gelegt:

- Definition von Nachrichtenformaten, Schnittstellen und Daten für die Fahrzeug-Server-Kommunikation für statische und dynamische Kartendaten
- Spezifikation und Aufbau eines Fahrzeugkommunikationsmoduls (AP1-Box)
- Implementierung der SW für die AP1-Box inkl. Kommunikation der definierten Nachrichten
- Tests und Nutzung der Kommunikationsstrecke in Feldversuchen und während der Abschlussdemonstration

Der nachfolgende Abschnitt dieses Kapitels beschreibt den Ablauf der Bearbeitung sowie die Ergebnisse.

#### 3.1.2.1 T1.2.1 Spezifikation von Nachrichten und Schnittstellen zur Kommunikation über Mobilfunk

In Ko-HAF spielt die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Safety Server eine zentrale Rolle. Entsprechend ist ein erheblicher Anteil der Arbeiten in AP1 und AP2 für diesen Aspekt angefallen. So sind Nachrichten und Schnittstellen spezifiziert und sowohl in den einzelnen Versuchsträgern der Projektpartner als auch im Safety Server implementiert und im Laufe des Projekts für zahlreiche Feldversuche und Demonstrationen verwendet worden. Die nachfolgende Darstellung zeigt dabei in einer schematischen Übersicht die verschiedenen Kommunikationsstrecken zwischen Ko-HAF-Fahrzeugen und Safety Server:

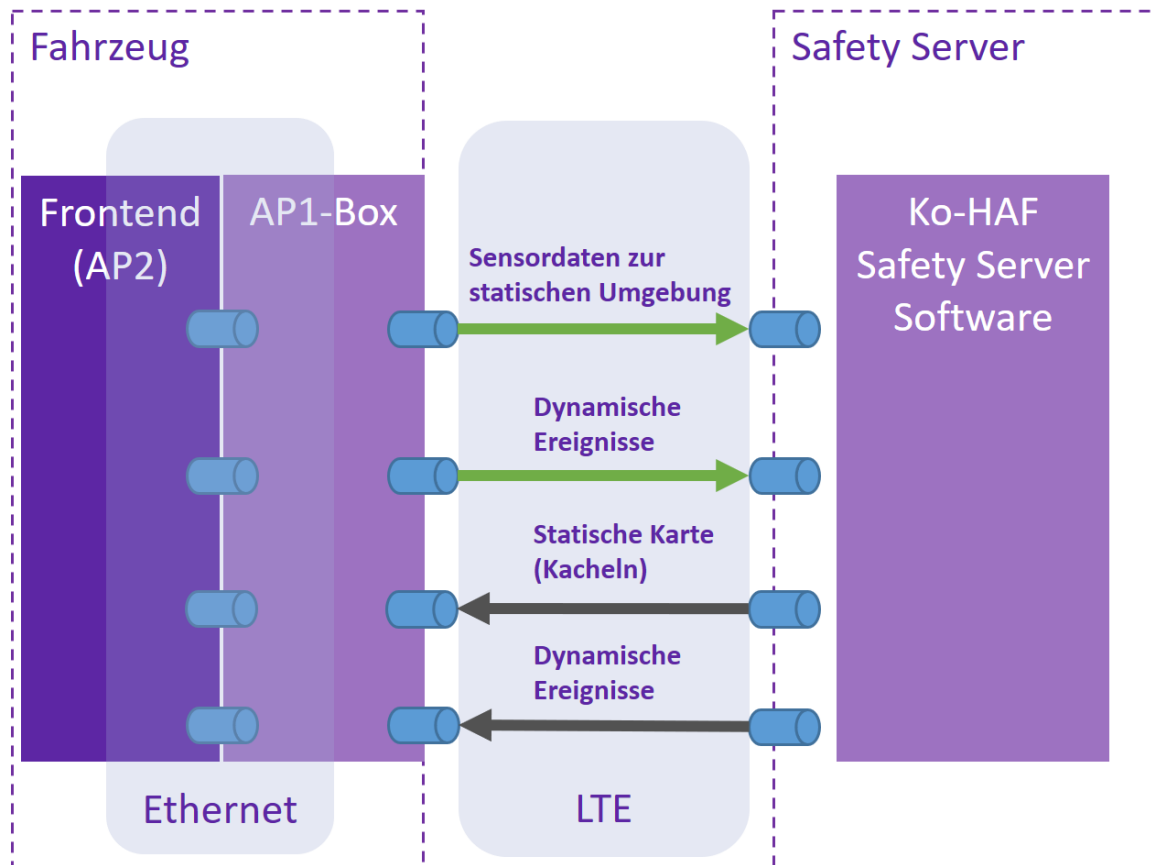


Abbildung 7: Kommunikationsschnittstellen zwischen Fahrzeug Frontend, AP1-Box und Safety Server.

Zusammengefasst werden die folgenden vier Arten von Informationen zwischen Fahrzeugen und Safety Server ausgetauscht:

1. **Sensordaten zur statischen Umgebung:** Voraggregierte Daten, die gefahrene Trajektorie und die dabei wahrgenommenen Straßenobjekte wie beispielsweise Leitpfosten enthalten. Die Kartendaten werden hierbei als statische Daten bezeichnet, da in der Regel eine Änderung dieser Daten nur durch bauliche Maßnahmen erfolgt.
2. **Dynamische Ereignisse:** Diese besitzen eine begrenzte zeitliche Gültigkeit und beinhalten mitunter für das Fahrzeug sicherheitskritische Informationen. Hierzu zählen u.a. Baustellenmeldungen, Falschfahrerwarnungen und Staunachrichten.
3. **Statische Karte:** Die hochaktuelle und hochgenaue Karte die vom Safety Server verwaltet und zwecks Fahrmanöverplanung und Unterstützung der Perzeption auf Anfrage an die Fahrzeuge verteilt wird.
4. **Dynamische Ereignisse:** Ereignisse wie Staus, die auf der geplanten Strecke der Fahrzeuge liegen und entweder von anderen Ko-HAF-Fahrzeugen oder über MDM gemeldet wurden.

Innerhalb des Fahrzeugs befindet sich dabei ein Frontend-System (siehe AP2-Teil des Berichts), das mit der für Ko-HAF in AP1 entwickelten Kommunikationsbox (AP1-Box) über Ethernet kommuniziert. AP1-Box und Safety Server wiederum kommunizieren über Mobilfunk miteinander.

Die für die dargestellten Kommunikationsstrecken erforderlichen Nachrichtenformate und Inhalte sind detailliert in einem separaten Spezifikationsdokument beschrieben. Im folgenden Verlauf dieses Unterkapitels wird die Erarbeitung dieser Spezifikation erläutert und deren Inhalte anhand der vier Kommunikationsstrecken knapp zusammengefasst.

### 3.1.2.1.1 Sensordaten zur statischen Umgebung

In Ko-HAF werden die Sensordaten aus der Flotte verwendet, um die Karte auf dem Safety Server zu bestätigen und aktuell zu halten (siehe Kapitel 3.1.3). Die grundsätzliche Herausforderung zu Beginn des Projektes lag darin, dass sich die Projektpartner mit individuelle Versuchsträgern, insbesondere hinsichtlich der Sensorausstattung und Betriebssoftware, an Ko-HAF beteiligten und zunächst ein einheitliches und für alle Partner realisierbares Format zur Kodierung und Übertragung der Sensorinformationen gefunden werden musste. Die in enger Abstimmung zwischen AP1 und AP2 durchgeführten Arbeiten beinhalteten zunächst eine Bestandsaufnahme von verfügbaren Standards aus den Bereichen der Car2X- und Car2Car-Kommunikation, die potenziell für das Projekt in Frage kamen. Parallel dazu wurden durch die Projektpartner Anforderungen an die Sammlung und Übertragung der Sensorinformationen der Fahrzeuge erhoben, vor allem in Hinblick auf die für die Verarbeitung im Safety Server anfallenden Anforderungen.

In der Definition der Nachrichtenformate wird einerseits der Inhalt der Nachrichten (z.B. Geschwindigkeit, Position) beschrieben, als auch wie die Nachrichteninhalte durch Datentypen beschrieben, serialisiert und deserialisiert werden. Typische Beschreibungs-/Serialisierungsformate sind hier ASN.1 (Abstract Syntax Notation 1), Apache Thrift, Google Protocol Buffers und XML (Extensible Markup Language). Einige der existierenden Standard-Nachrichtenformate sind bereits auf ein Beschreibungs-/Serialisierungsformat festgelegt, andere unterstützen mehrere Formate. Im Hinblick auf die Client-Server-Kommunikation über LTE wurden die Beschreibungs- und Serialisierungsformate bewertet, die durch bestehende Standards genutzt werden konnten.

Schließlich wurde mit dem Nachrichtenformat „Vehicle Sensor Data Cloud Ingestion Interface (SDII)“<sup>6</sup>, ein Format identifiziert, das einerseits bereits für den herstellerunabhängigen Upload von Sensordaten aus Fahrzeugen in die Cloud entworfen wurde und andererseits viele Anforderungen der Ko-HAF-Partner schon ermöglichte. Zur Laufzeit des Projektes Ko-HAF wurde das Format dann vom ursprünglichen Entwickler HERE auch als „SENSORIS“ zur weiteren Entwicklung an die ERTICO ITS Europe übergeben. Aus Ko-HAF heraus wurde dementsprechend eine Kooperation angestoßen, um sich an dem Standardisierungsprozess zu beteiligen und insbesondere die zusätzlichen Anforderungen der Ko-HAF-Formate einzubringen. Weitere Informationen zu dieser Zusammenarbeit sind in Kapitel 5.2 zu finden.

Der grundsätzliche Aufbau der Nachrichteninhalte aus der Fahrzeugflotte wurde weiterhin in Ko-HAF wie folgt definiert: Je Ausschnitt (Teilkachel siehe Abbildung 8) des Fahrzeugumfelds wird eine Nachricht erstellt, die an den Server geschickt wird. In einer solchen Nachricht sind der zurückgelegte Pfad (Trajektorie), sowie Ereignisse, die sich ereignet haben, jeweils in zeitlicher Reihenfolge enthalten. Die „Ereignisse“ umfassen sowohl Fahrzeugdaten als auch Straßen- und Verkehrsinformationen. So zeigt Abbildung 9 die schematischen Bestandteile eines vereinfachten Fahrzeugumfelds inklusive der zurückgelegten Trajektorie.

---

<sup>6</sup> <https://developer.here.com/olp/documentation/sdii-data-spec/topics/introduction.html>



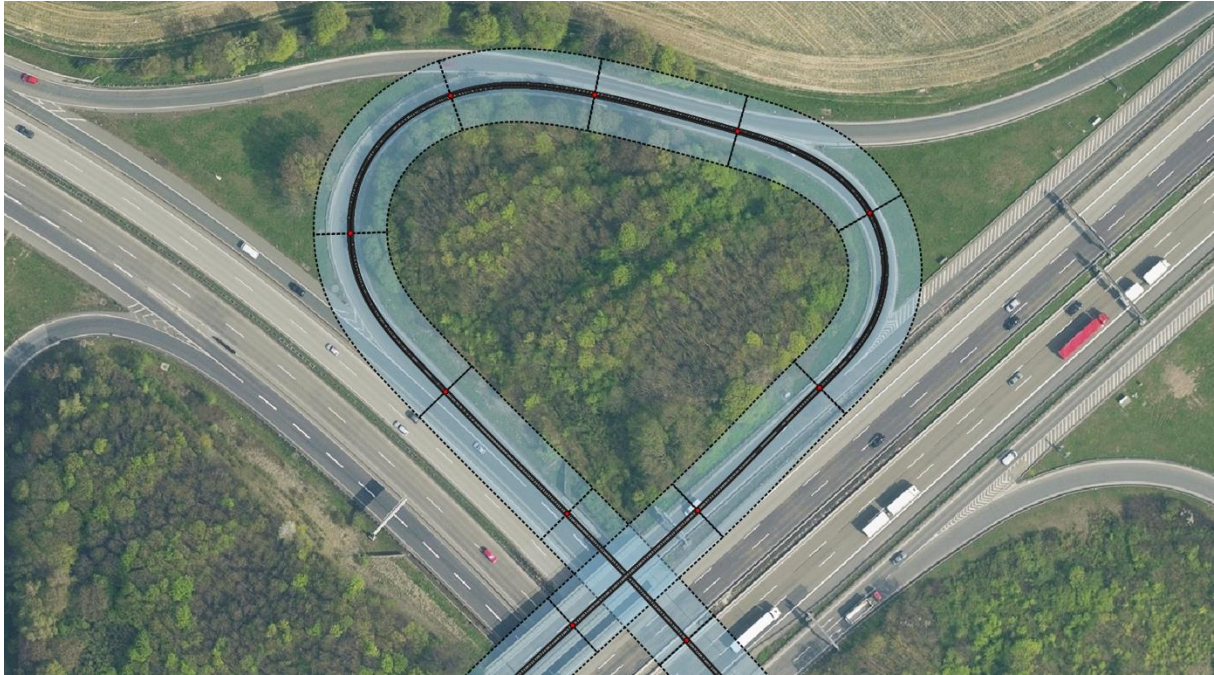


Abbildung 8: Durchfahrt einer Rampe mit mehreren Teilkarten.

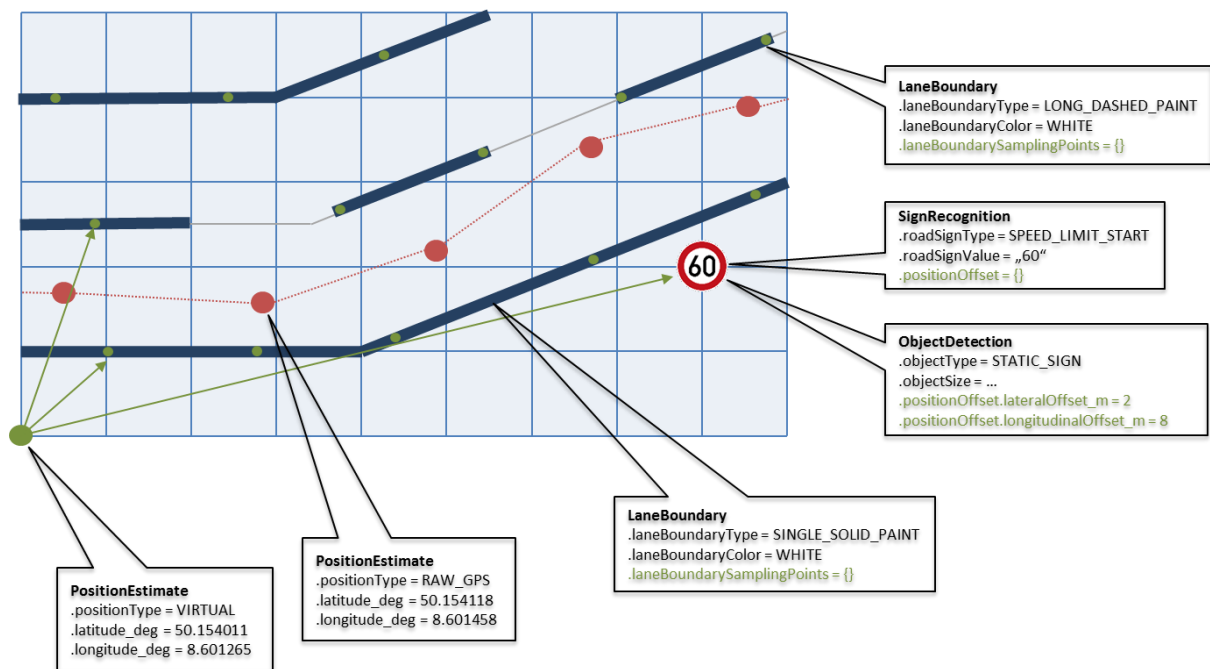


Abbildung 9: Mapping des Fahrzeugumfelds zum Upload-Format.

Durch das Raster wird ein lokales Koordinatensystem angedeutet. Jede Nachricht enthält jeweils ein eigenes lokales Koordinatensystem, dessen Koordinatenursprung wiederum durch eine absolute WGS-84-Koordinate den Bezug zum globalen Referenzsystem herstellt.

Die im Umfeld des Fahrzeugs erkannten Objekte werden innerhalb des lokalen Koordinatensystems ausgehend vom Koordinatenursprung referenziert. In Abbildung 9 wird der Koordinatenursprung durch den grünen Punkt dargestellt. Die grünen Pfeile symbolisieren die relativen Positionen des Verkehrszeichens und der Spurmankierungen. Abbildung 9 zeigt zudem die (vereinfachten) Datenstrukturen des Upload-Datenformates. Kontinuierliche Objekte, wie beispielsweise Spurmankierungen, müssen für den Upload diskretisiert übertragen werden. Weiterhin wurde das Format so angepasst, dass auch Informationen zur Mobilfunkabdeckung übertragen werden konnten, da auch diese Daten auf dem Safety Server verarbeitet wurden.

Da die SDII nur eine rein semantische Beschreibung der Sensordaten ermöglicht, wurde zwecks Serialisierung in Ko-HAF noch auf die bereits erwähnten Google Protocol Buffers (Protobuf) gesetzt.

Nach der Definition dieses Formates wurde es in Ko-HAF von allen mit Versuchsträgern beteiligten Projektpartnern in den Fahrzeugen umgesetzt und ermöglichte so die Kommunikation aus den jeweiligen Fahrzeug-Frontends, über die AP1-Box mit dem Safety Server. Dabei sind in einer Vielzahl von Feldversuchen Daten in diesem Format eingefahren, auf den Safety Server übertragen und verarbeitet worden. Ein gemeinsames Datenformat für alle Projektpartner zur Verfügung zu haben, hat schließlich die weitere intensive Arbeit mit den Daten – insbesondere zur Aggregation – überhaupt erst ermöglicht und wurde daher als großer Erfolg bewertet.

#### 3.1.2.1.2 Dynamische Ereignisse

Die zweite Art von Informationen, die in Ko-HAF von Fahrzeugen aus der Flotte an den Safety Server übertragen wurde, sind Nachrichten zu dynamischen Ereignissen. Dazu zählen beispielsweise Liegenbleiber, Stauende oder Baustellen. Die Umsetzung der Erkennung dieser Ereignisse mit Hilfe der Fahrzeugsensorik oblag dabei dem AP2, während die Reaktion auf Ereignisse dieser Art in der Verantwortlichkeit von 4 und 5 lag. In AP1 wurde in enger Abstimmung mit den genannten AP ein Format definiert, das diese Arten von Nachrichten übertragen konnte. Hierbei ist erneut Protobuf zum Einsatz gekommen. Analog zu den statischen Daten sind diese Nachrichten dann auch über die AP1-Box an den Safety Server übertragen worden. Im Gegensatz zu den statischen Daten, sind dynamische Ereignisse jedoch nicht auf dem Safety Server zwecks Aggregation verarbeitet worden, da dies außerhalb des Rahmens von Ko-HAF lag.

Weitere Details zur Nachrichtenspezifikation sind in dem angehängten Spezifikationsdokument zu finden. Informationen zur technischen Realisierung der Übertragung dieser Nachrichten sind hingegen im nachfolgenden Abschnitt zu finden.

Auch Daten für dynamische Ereignisse wurden in Ko-HAF von einigen Partnern erzeugt und für die Manöverplanung getestet. Dies ist u.a. sehr erfolgreich in Fahrversuchen bei der Abschlusspräsentation demonstriert worden.

#### 3.1.2.1.3 Statische Karte

In Ko-HAF wurde der Ansatz verfolgt, neben der Perzeption aus der Fahrzeugsensorik eine hochgenaue Karte zur Manöverplanung für das automatisierte Fahren zu nutzen. Zur Unterstützung dieses Vorhabens wurde in AP1 einerseits eine solche Karte erstellt (siehe Kapitel 3.1.3), andererseits die Karte mithilfe von Flottendaten aktualisiert und schließlich ein Format definiert, welches eine Auslieferung der Karte vom Safety Server zu den AP1-Boxen in den Versuchsfahrzeugen erlaubte. Dieses Format wurde in Zusammenarbeit insbesondere mit AP2 erarbeitet und wird im Folgenden kurz zusammengefasst.

Die Grundidee beim Bezug von Kartendaten in Ko-HAF war, dass ein Fahrzeug Informationen zur geplanten Route an den Safety Server schickt und eine dazu passende hochgenaue Karte erhält. Dazu wurde der Inhalt der Kartendatenbank des Safety Servers (vgl. Abbildung 2) in ein Kachelraster unterteilt. Diese Kacheln (beispielhaft gezeigt in Abbildung 10) enthalten jeweils die geographisch darin liegenden Kartenfeatures und können nur als Ganzes angefragt werden. Linienförmige Kartenelemente werden an den Kachelgrenzen aufgetrennt, um die unnötige Doppelübertragung von Daten zu vermeiden. Demselben Zweck dient das Ausfiltern von Attributen, die relativ zu diesen linienförmigen Elementen angegeben sind, wenn sie sich auf ein Teilstück außerhalb der Kachel beziehen.

Im Raster lassen sich Kacheln adressieren, indem sowohl Zeilen als auch Spalten fortlaufend nummeriert werden. Anfragen an den Server lassen sich auf Basis einer Routenprojektion des Fahrzeugs in Kachelnummern umrechnen. Soll sichergestellt werden, dass auch in einer gewissen Umgebung der Route alle Daten vorliegen, kann optional auch die Breite eines Korridors um die Route berücksichtigt werden. Aus der Route bzw. dem Korridor kann mittels

etablierter Verfahren zur Rasterung von Linien bzw. Flächen eine Liste relevanter Kacheln ermittelt werden.

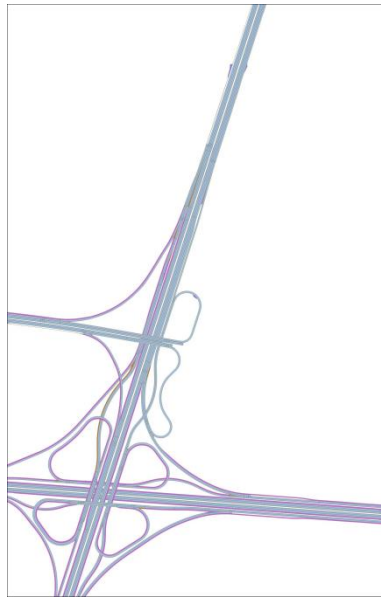


Abbildung 10: Kartendaten der Kachel 11316/8403 (Frankfurter Kreuz).

Der Einsatz von Kacheln hilft bei der Bewältigung mehrerer Herausforderungen. So ermöglicht er etwa den effizienten Betrieb von Caches sowohl auf Server-, als auch auf Fahrzeugseite. Damit der grundsätzliche technische Ansatz auch in Hinblick auf einen hypothetischen Regelbetrieb zukunftsfähig bleibt, muss die Last auf den Datenbankservern minimiert werden. Caching und der Einsatz von Proxy-Servern sind gängige Lösungen, die davon profitieren, dass Daten von mehreren Fahrzeugen in identischer Form angefragt werden. Würde beispielsweise jedes der Fahrzeuge eine leicht unterschiedliche Bounding Box für die angefragten Daten angeben, wäre für jede Anfrage ein neuer Datenbankzugriff nötig.

Ein zusätzlicher Vorteil ist die Möglichkeit einer Datenversionierung auf Kachelebene. Um Kartendaten vom Server zu erhalten, sendet ein Fahrzeug die Liste der gewünschten Kachelnummern an den Server und gibt jeweils auch die auf dem Fahrzeug lokal bereits verfügbare Kachelversionsnummer mit an. Der Server liefert dem Fahrzeug in seiner Antwort zu jeder angefragten Kachel entweder die Kachel selbst oder die Information, dass die Daten des Fahrzeugs noch dem aktuellen Stand entsprechen. Da in vielen Fällen zwischen zwei Versionen einer Kachel nur vergleichsweise wenige Änderungen vorliegen, ist im Datenformat zusätzlich die dritte Option vorgesehen, anstatt der kompletten Kachel lediglich die Differenz zum letzten dem Fahrzeug bekannten Stand der Kachel auszuliefern. Der gesamte Vorgang ist in Abbildung 11 dargestellt.

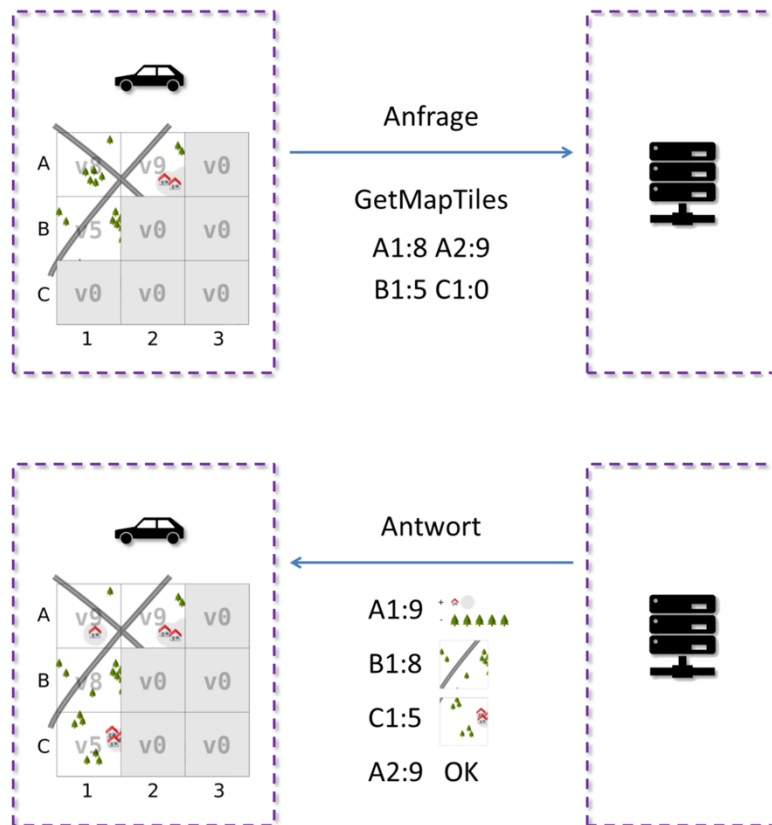


Abbildung 11: Darstellung des Verfahrens zur Aktualisierung von Kartenkacheln.

Wegen der limitierten Bandbreite der Mobilfunkverbindungen bestand eine Herausforderung bei Entwurf und Implementierung der Schnittstelle auch in der kompakten Datenübertragung bei gleichzeitiger Wahrung der hohen Genauigkeit der Kartendaten. Mit dem „Protocol Buffer“-Dateiformat wurde hier ein Binärformat gewählt, das kompakte Repräsentationen gängiger Feldtypen anbietet und für dessen Lesen und Schreiben robuste Open-Source-Bibliotheken auf den im Projekt Ko-HAF verwendeten Plattformen existieren. Der Aufbau der in Ko-HAF verwendeten Nachrichten wurde auf Basis der Struktur der Serverdatenbank in Protobuf-Schemadefinitionsdateien definiert.

Dieses Protobuf-Schema ist in der Lage, alle Datentypen der geschichteten Karte mit Ausnahme der Ereignismeldungen abzubilden. Dabei wurden Verfahren zur weiteren Reduktion der übertragenen Datenmenge umgesetzt. Hierzu zählen die Repräsentation von Koordinaten als Varints, d.h. repräsentierte Festkommawerte, Relativangabe aufeinanderfolgender Koordinaten linienförmiger Features oder auch duplikatfreie Speicherung von Strings in einer per Index referenzierten Werteliste.

Im Ergebnis konnten die Daten mit einer durchschnittlichen Größe von 70 kB pro Kachel (ca. 14–33 kB pro Autobahnkilometer) auch über Mobilfunkverbindungen gut an die Fahrzeuge ausgeliefert werden.

In Ko-HAF wurde die Betriebssoftware der Versuchsträger von den jeweiligen Projektpartnern an dieses Kartenformat adaptiert und zur automatisierten Fahrt in den Feldversuchen und während der Abschlusspräsentation genutzt.

#### 3.1.2.1.4 Dynamische Ereignisse

Neben dynamischen Ereignissen, die wie beschrieben aus der Fahrzeugflotte an den Safety Server gesendet wurden, wurden umgekehrt auch Fahrzeuge über dynamische Ereignisse auf der von ihnen geplanten Route informiert. Als Datenquellen kamen hierzu neben den

erwähnten anderen Fahrzeugen auch die im vorherigen Kapitel beschriebene Datenquelle MDM Verkehrsdatenplattform zum Tragen. Die dynamischen Ereignisse wurden dabei mit den statischen Kartendaten in Bezug gesetzt. Zur Übertragung wurde hierbei erneut auf das Protobuf-Format gesetzt.

### 3.1.2.2 T1.2.2 Implementierung einer prototypischen Kommunikation über Mobilfunk

Während es in der zuvor beschriebenen Aufgabe T1.2.1 um die Spezifikation der Nachrichten und Schnittstellen zwischen Fahrzeugen und Safety Server ging, war es Inhalt der hier beschriebenen Aufgabe, eine prototypische Umsetzung der Übertragungswege zu realisieren. Dazu galt es zum einen die Kommunikations-Hardware (AP1-Box) inkl. Betriebs-Software umzusetzen und andererseits die Übertragungswege zwischen dieser Hardware und dem Safety Server auf Basis des Mobilfunks zu realisieren. Schließlich war es auch der Anspruch des Projektes, diese prototypische Kommunikationsinfrastruktur aktiv für Feldversuche und Präsentationen zu betreiben.

Dazu wurde zunächst in Zusammenarbeit insbesondere mit AP2 eine Hardware als Basis für die AP1-Box bestimmt, die die benötigten Anforderungen für die Kommunikation von Fahrzeug und Server und die Echtzeitverarbeitung der angeforderten Kartendaten und Fahrzeugdaten leisten kann. Hier wurden verschiedene Hardware-Typen vorgeschlagen, z.B. wurden hochwertige In-Vehicle-Computer vorgeschlagen, mit unterschiedlicher Leistungsfähigkeit und Ausstattung, die jedoch alle über die notwendigen Anschlüsse und Ausstattungen für die Kommunikation verfügen.

Die Entscheidung der Partner ist dabei auf die leistungsstärkste Hardware gefallen, damit die zu entwickelnde Software ohne Leistungseinschränkungen auf den Fahrzeugrechnern betrieben werden kann. Die gewählte Hardware VTC 7240 besitzt einen Betriebstemperaturbereich von  $-30^{\circ}\text{C}$  bis  $55^{\circ}\text{C}$  mit einer Lagertemperatur des Rechners von  $-35^{\circ}\text{C}$  bis  $85^{\circ}\text{C}$ . Da Sorge bestand, dass der Temperaturbereich im Betrieb im Sommer ggf. überschritten werden könnte, wurden zusätzlich Klimaschranktests durchgeführt, um die Belastungsgrenze der Rechner zu bestimmen. Die Hardware für die AP1-Box hatte weiterhin folgende Ausstattung: LTE-Modem, Dachantennen mit Magnetfuß sowie den zugehörigen Adaptern und je eine SIM-Karte mit High-Speed LTE.

Im weiteren Verlauf wurden in diesem Zusammenhang Mobilfunkverträge für die AP1-Boxen geschlossen und die Hardware an die Partner zum Einbau in die Versuchsträger ausgeliefert. Zunächst war dort eine Basisbetriebssoftware hinterlegt, die anhand eines eigens dafür aufgesetzten Softwareverteilungssystem kontinuierlich mit neuen Versionen aktualisiert wurde (über den Paketdienst der Debian-Paketverteilung realisiert). Die Software-Updates wurden weiterhin nach deren Fertigstellung und Test mit einer jeweils neuen Versionsnummer bereitgestellt. Weiterhin wurde die Kommunikationssoftware der AP1-Box so installiert, dass diese automatisch beim Start der AP1-Box mitgestartet wurde und zwecks Fehlersuche auch eine Systemprotokollierung mitlief. Hierbei wurden sowohl das allgemeine Verhalten der Box (wie CPU-Auslastung, Speicherbedarf etc.) als auch die Ereignisse in der Ko-HAF Anwendungssoftware beobachtet und aufgezeichnet.

Die Software der AP1-Box setzte weiterhin die Schnittstellen und Kommunikationswege aus der zuvor beschriebenen Aufgabe um. Dazu wurde für die Übertragung von statischen und dynamischen Daten auf zwei unterschiedliche Technologien gesetzt:

Statische Kartendaten wurden über den zuvor beschriebenen, kachelbasierten Request-Response-Mechanismus via HTTP vom Safety Server bezogen. Dabei bot die AP1-Box dem Fahrzeug-Frontend Schnittstellen, um Kartendaten für eine geplante Route beim Safety Server anzufragen sowie um empfangene Kartendaten von der AP1-Box zu beziehen. Dabei wurde eine Caching-Strategie verfolgt, die es erlaubte, die AP1-Box als „virtueller Sensor“ zu verwenden, der nach dem initialen Download der Karte zu jedem Zeitpunkt eine Karte liefern konnte, auch wenn die Mobilfunkverbindung unterbrochen war. Weiterhin wurden Kartendaten automatisch nachgeladen, falls sich während der Befahrung der angefragten Route Änderungen auf dem Safety Server ergaben. Auch für den Upload der statischen Umgebungsdaten



wurde auf http gesetzt und auch hier wurden Teilkacheln auf der AP1-Box zwischengespeichert, um Verbindungsabbrüche im Mobilfunk zu kompensieren.

Informationen zu dynamischen Ereignissen wie ein Stauende wurden in Ko-HAF als zeitkritisch eingestuft und ein aktives Anfragemodell ausgehend von den Fahrzeugen als nicht geeignet ausgeschlossen. Stattdessen wurde angenommen, dass der Safety Server zur Stützung der automatisierten Fahrfunktion in der Lage sein muss, diese Informationen, sobald sie ihm zur Verfügung stehen, direkt an die Fahrzeuge zu übermitteln. Zur Realisierung wurde daher auf ein sogenanntes Publish-Subscribe-Verfahren, genauer auf MQTT gesetzt. Das schematische Funktionsprinzip des Einsatzes von MQTT in Ko-HAF ist in Abbildung 12 dargestellt: Alle Fahrzeuge registrieren sich dabei bei einem auf dem Safety Server laufenden Message Broker auf die von ihnen benötigten Themen (z.B. Unfallmeldungen und Baustellenninformationen in einem Umkreis zur Eigenposition oder geplanten Route). Der Safety Server selbst meldet die bei ihm auftretenden Informationen (Meldungen aus Fahrzeugen und MDM) zu dem jeweils passenden Thema ebenfalls an den Message Broker. Der Broker übernimmt dann die genaue Verteilung an alle bei ihm auf dieses Thema registrierten Fahrzeuge.

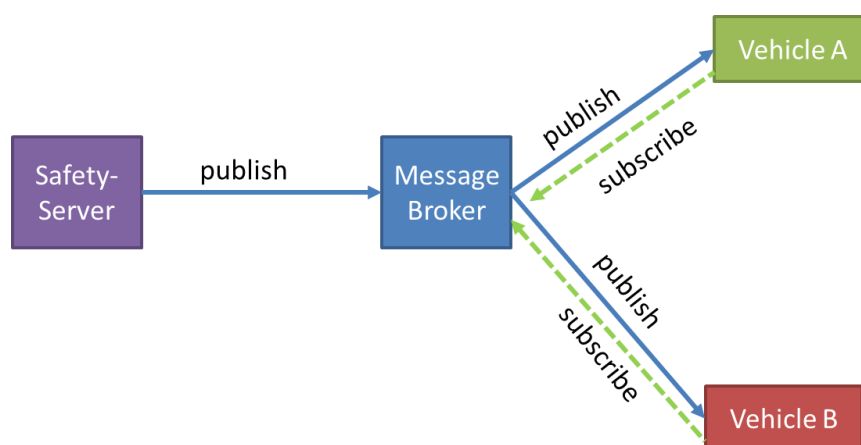


Abbildung 12: Funktionsprinzip von MQTT.

Beim Eintreffen der oft zeitsensitiven Ereignismeldungen konnten diese so unverzüglich an alle betroffenen Fahrzeuge verteilt werden. Den Abonnements lag dabei dasselbe Kachelraster wie den statischen Kartendaten (vgl. z.B. Abbildung 11) zugrunde. Vor der Entwicklung wurden weiterhin vorab unterschiedliche MQTT-Broker-Bibliotheken auf ihre Eignung geprüft, darunter RabbitMQ und EMQTT. Die Möglichkeiten bei der Nutzung von Retained Messages – Nachrichten, die Fahrzeuge auch dann erhalten, wenn sie ein Abonnement erst nach Veröffentlichung der Nachricht aufnehmen – gaben den Ausschlag für die Verwendung von EMQTT.

Die zusätzliche Implementierung der Bedienung der AP1-Schnittstellen auf Seiten des Fahrzeug-Frontends bei den Versuchsfahrzeugen sowie auf Seiten des Safety Servers, ermöglichte schon relativ früh im Projektverlauf die prototypische Fahrzeug-Server-Kommunikation. So wurden zahlreiche Feldversuche, aber auch die Abschlussdemonstration auf Basis dieser Realisierung erfolgreich durchgeführt.

### 3.1.3 UAP1.3 Datenmodellierung im Safety Server

In diesem UAP wurde das hochgenaue Grunddatenmodell der Teststrecke vermessen und bereitgestellt. Weiterhin wurden Verfahren zur Aktualisierung der Karte und zur Qualitätsbestimmung erarbeitet.

Die Schwerpunkte in diesem UAP lagen in der Bearbeitung der nachfolgenden Aspekte:

- Definition des Ko-HAF-Testgebietes
- Festlegungen des Formats und der Eigenschaften der benötigten HAF-Karte
- Erzeugung und Bereitstellung der Kartendaten im OpenDrive Format

- Erzeugung und Bereitstellung der Kartendaten im IGP5-Format
- Verarbeitung von Fahrzeugdaten aus dem Upload
- Aggregation und Änderungserkennung von Fahrzeugdaten sowie Evaluation der Aggregationsergebnisse (statische Umgebungsdaten und Mobilfunkdaten)

Der nachfolgende Abschnitt dieses Kapitels beschreibt den Ablauf der Bearbeitung sowie die Ergebnisse.

### 3.1.3.1 T1.3.1 Erzeugung hochgenaueres (Grund-)Datenmodell

- Definition des Testgebietes
- Festlegungen Format und Eigenschaften (z.B. ODR-Achsen)
- Erzeugung Kartendaten im OpenDrive Format
- Erzeugung Daten im IGP5-Format

#### 3.1.3.1.1 Definition des Testgebietes

Im ersten Arbeitsschritt wurde das Testgebiet definiert. Dieses umfasst rund um Frankfurt Bereiche der A3, A661 und A5. Wesentliche Elemente sind das Frankfurter Kreuz mit Teilen der Zufahrtswege zum Frankfurter Flughafen, das Eschborner Dreieck, das Offenbacher Kreuz sowie das Bad Homburger Kreuz. Im Bereich Raunheim wurde die Referenzstrecke so ausgewertet, dass die digitale Karte die Wendemöglichkeit abdeckte.

Die Auswertung der vier großen Autobahnkreuze wurde so umgesetzt, dass diese aus allen Richtungen befahrbar sind. Die entsprechenden Bereiche wurden großzügig definiert; zusätzlich wurden noch mehrere Anschlussstellen als vollständig befahrbar ausgewertet.

Alle vorhandenen Anschlussstellen wurden in OpenDrive als Kreuzungen ausgewertet, so dass die einmündenden und abgehenden Fahrspuren logisch korrekt modelliert wurden. Der Auswertungsbereich beschränkte sich dabei auf die Sichtweite von der Hauptfahrbahn aus, so dass in den Testfahrzeugen alle Fahrzeugbewegungen auf der Referenzkarte logisch korrekt zugeordnet werden konnten.

Neben den Autobahnkreuzen und -abschnitten wurde das Prüfgelände Dudenhofen mit Anschluss zum Autobahn-Testfeld Bestandteil des Gesamtgebiets.

Die Messdaten wurden dem Konsortium vollständig bereitgestellt. Die Laserscannerdaten wurden dabei in Form von Punktwolken, die Kameradaten als georeferenzierte Einzelbilder in Form von 3D RoadView Projekten übergeben. RoadView ist eine 3D Mapping Solutions haus-eigene Software, die im Rahmen dieses Projektes an die Partner herausgegeben wurde.

#### 3.1.3.1.2 Festlegung der Fahrbahnachsen

Die erste und auch fachlich eine der wichtigsten Festlegungen für die Auswertung der Referenzkarte betraf die Definition der Fahrbahnachsen. Dies war ein zentrales Element für den Bezug der Messdaten zum Fahrzeug.

3D Mapping Solutions hatte dazu die in OpenDRIVE 1.4 eingeführten parametrischen Splines (spec.: 5.3.4.1.5) als Variante mit den meisten Vorteilen vorgeschlagen:

- Weniger Elemente im Vergleich zu Kreisbögen nötig.
- Bei Parametrisierung nach Bogenlänge ist für jede Position  $s$  entlang der Achse die Koordinate leicht zu ermitteln.
- Stetige Krümmung über den gesamten Kurvenverlauf.

Sehr wichtig für die Nutzung der Daten war die Festlegung der Lage der Achse. Hier gibt es generell zwei sinnvolle Alternativen:

- a) Achse auf der innersten Markierung links in Fahrtrichtung (siehe Abbildung 13)
- Vorteile:**
- Immer möglich.
  - Gut nachvollziehbare Spurlogik – Fahrspuren rechts, Fahrbahn-rand / Bordsteinkante links.
- Nachteile:**
- Eine Glättung der Achse ist nur eingeschränkt möglich, da die Achse geometrisch an die Markierung gebunden ist. Die Folge ist ein hohes Rauschen in der Krümmungsinformation.
- b) Achse links neben der Fahrbahn
- Vorteile:**
- Die Achse kann stärker geglättet werden, da diese nicht an die Fahrbahnmarkierung gebunden ist.
  - Daraus ergibt sich ein Krümmungsbild, welches einem einer mathematisch trassierten Achse aus Klothoide, Gerade und Kreisbogen sehr nahekommt.
- Nachteile:**
- Zusätzliche Spur vom Typ „none“ zwischen Achse und Fahrbahnrand. Diese zusätzlichen Daten sind nicht immer erwünscht und nicht immer einfach zu verarbeiten.
  - Nicht immer möglich – bei Verbindungsrampen, Abfahrten und Ähnlichem muss die Achse weiterhin in der Markierung liegen, um logische Probleme zu vermeiden.
  - Erhöhter Aufwand.

Schlussendlich wurde im Rahmen der fachlichen Absprachen in AP1 festgelegt, dass die Achsen jeweils links neben dem Fahrbahnrand definiert werden, weil der Güte der Krümmung aus der Referenzkarte im Projekt hohe Bedeutung beigemessen wurde.

#### 3.1.3.1.3 Auswertung der Referenzstreckendaten

Mittels Schwellwert-basierten Segmentierungsverfahren werden Fahrbahnmarkierungen und Ränder extrahiert. Anhand dieser Messdaten werden die Fahrspuren und Achsen gebildet.



Abbildung 13: Extrahierte Markierungen als Grundlage für die Bildung der Spuren und Achsen.

#### 3.1.3.1.4 Erzeugung der HD Map im Format OpenDRIVE

Die fachlichen Absprachen zur finalen Festlegung des Objektkataloges mit allen Attributen und Eigenschaften für die Referenzkarte wurden geführt und festgehalten, sowie der Verlauf der Fahrspuren und Achsen.

Die nachstehende Abbildung veranschaulicht das Ausmaß des Gesamtgebiets, das von 3D Mapping Solutions aufgenommen und zunächst als HD Map im Format OpenDRIVE modelliert wurde.

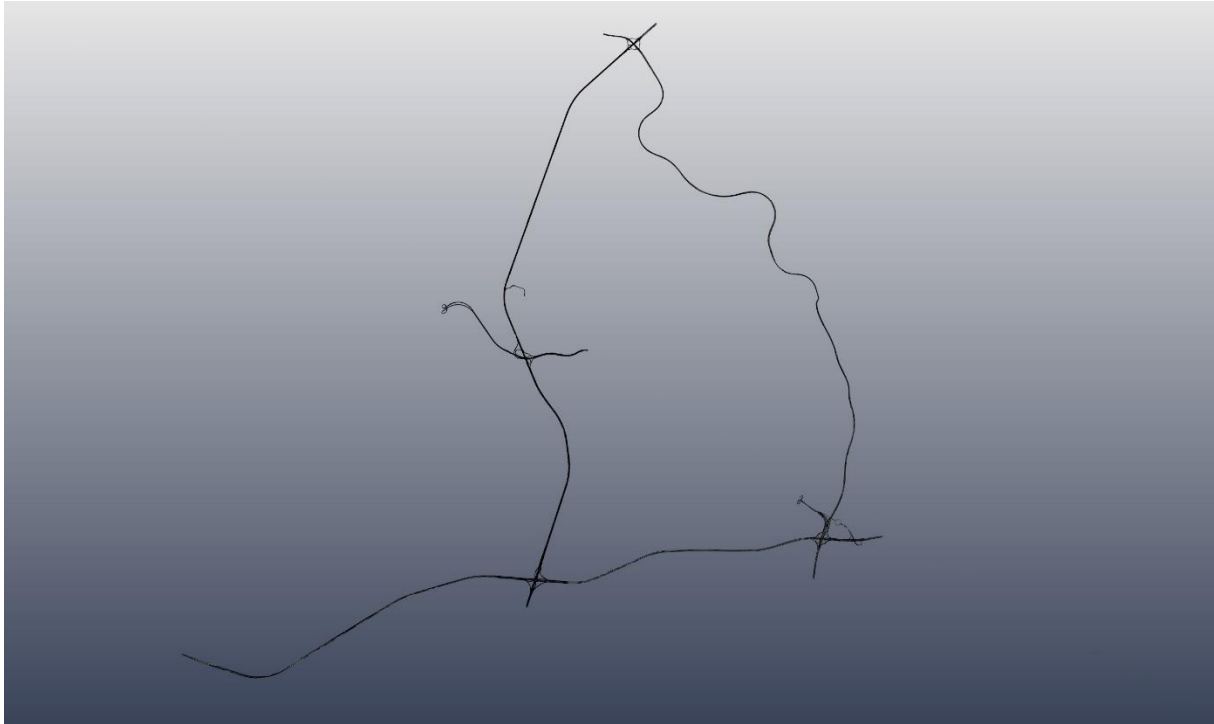


Abbildung 14: Ausgewertete Spurmarkierungen und gelegte Achsen.

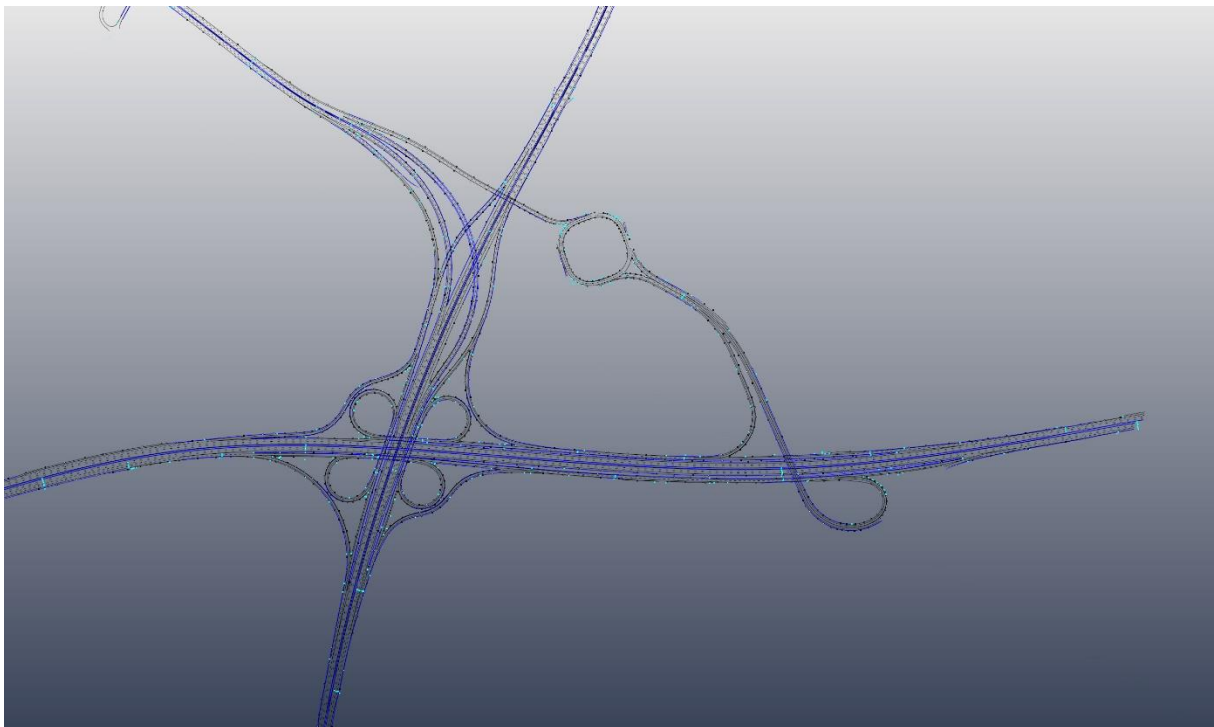


Abbildung 15: Achsenfestlegung entsprechend der obig diskutierten Kriterien und Fahrspuren am Beispiel Offenbacher Kreuz.

Die Fahrspuren und Achsen wurden zu Beginn des Jahres 2016 als wesentliches Element der Referenzkarte an das Konsortium bereitgestellt. Die Objekte erfolgten sukzessive je nach Fortschritt der Definitionen und Festlegungen.

Die nächste Erweiterung der Grundkarte im OpenDrive-Format umfasste für 3D Mapping Solutions die Modellierung des Kartenanschlusses der Langen Geraden auf dem Prüfgelände Dudenhofen zum Testfeld. Die Bearbeitung bestand aus Befahrung der Strecke, der Homogenisierung und Auswertung der Spurdaten.

Mehr als 5 km OpenDRIVE Achsen wurden modelliert, um das gesamte Gebiet der Langen Gerade zusammen mit 4 km Linienobjekten und ca. 100 Punktobjekten bzw. Signalen darzustellen.

Dabei konnten nahezu 300 km Spurbegrenzungslinien als Plandaten fertig bearbeitet werden. Diese bilden nun die Grundlage für die weitere Bearbeitung der HD Map. Somit ist eine durchgängige Fahrt auf der digitalen Referenzkarte vom Autobahn-Testfeld um Frankfurt bis zum Prüfgelände Dudenhofen möglich.

### **Spurtyperweiterung für Entry und Exit für das Autobahn-Testfeld**

Als Ergänzung der hochgenauen Grundkarte des gesamten Autobahn-Testfeldes, konnte außerdem die Information der Spurtypen für Entry und Exit bereitgestellt werden. Dabei wurden insgesamt ca. 160 Attribute hinsichtlich dieser Spurtypen als Kartenupdate für das große Testfeld bearbeitet und veröffentlicht.

#### 3.1.3.1.5 Erzeugung der HD Map im Format Road5 by IPG Automotive

### **Die Lange Gerade in Dudenhofen**

Hauptaufgabenteil war für 3D Mapping Solutions die Befahrung, Auswertung sowie die Planung und OpenDRIVE Datenbearbeitung der Langen Geraden. Die Lange Gerade in Dudenhofen wurde in die Formate OpenDRIVE und IPG Road 5 Format umgesetzt. Hierbei wurden mehr als 5 km als Referenzachsen erzeugt. Die enthaltenen Objekte sind 4 km Linienobjekte (Leitplanken) und ca. 100 Punktobjekte (Signale).

### **Flughafen**

Der Flughafenbereich wurde ebenfalls in das Format Road5 by IPG Automotive umgesetzt. Hierbei wurden 87 Referenzachsen mit einer Gesamtlänge von 35 km erzeugt. Enthaltene Objekte sind 70 km Leitplanken, 760 Leitpfosten, 30 Straßenmarkierungen, 531 Verkehrszeichen und 20 Brückenbereiche.

### **Autobahnteilstücke**

Gegen Ende des Bereichszeitraumes konnten erfolgreich die Kartendaten im IPG Road5-Format bereitgestellt werden. Der konvertierte Kartenbereich umfasst dabei die Autobahnteilstücke der A3, A5 und A661, die durch die Autobahnkreuze Bad Homburger Kreuz, das Offenbacher Kreuz und das Frankfurter Kreuz begrenzt sind.

Die Autobahnkreuze wurden dabei ebenfalls in ihrer Gänze abgebildet.

Die IPG Road5-Format-Umsetzung der Flughafentangente und des Anschlusses des Testgebietes Dudenhofen an das Hauptkartengebiet war für das 1. Halbjahr 2018 angedacht. Funktionale Mängel in Darstellung, Objekthandhabung und Unterschiede zwischen verschiedenen CarMaker Versionen im IPG Road5-Format wurden dabei beseitigt.



Abbildung 16: Offenbacher Kreuz in ROAD5 by IPG Automotive.



Abbildung 17: Bad Homburger Kreuz in ROAD5 by IPG Automotive.





Abbildung 18: Frankfurter Kreuz in ROAD5 by IPG Automotive.

Gegen Ende des Projektzeitraumes wurden zusätzlich zur ROAD5 Umsetzung vier Carmaker Routen definiert und dazu Autobahnstücke aus dem bestehenden HD Map Datensatz umgesetzt.

### 3.1.3.2 T1.3.2 Lernende Karte – Aggregation von Kartenschichten im Server

Baustellen, veränderte Spurführungen oder ausbleichende Fahrbahnmarkierungen – zahlreiche in der realen Welt stattfindende Änderungen bedingen ein Auslaufen der Gültigkeit der HAF-Karte. Hauptziel der Arbeiten in UAP 1.3 war daher die Entwicklung von Aggregationsverfahren zur Verwaltung und Aktualisierung der HAF-Karte im Safety Server.

Um den Einfluss von Verdeckungen, limitierter Sensorreichweite sowie Mess- und Lokalisierungsfehlern zu reduzieren, wurden dafür zunächst Daten aus Fahrversuchen prozessiert. Dazu wurden mehrfache Befahrungen von Streckenabschnitten aggregiert und konsolidiert, so dass ein möglichst genaues Abbild der aktuellen Realität geschaffen wurde. Diese konsolidierten Ergebnisse wurden dann mit den in der HAF-Karte vorliegenden Ergebnissen verglichen. Dabei wurden Gebiete in der HAF-Karte gegebenenfalls als geändert markiert und in einem letzten Schritt durch die konsolidierten Daten ersetzt. Eine Verarbeitungskette, die dies umsetzt, wurde im Rahmen dieses UAP entwickelt und wird im Folgenden zusammen mit den nötigen Vorarbeiten bezüglich Datenspezifikation und Architektur des Safety Servers vorgestellt.



Change	Change Type			Potential Indication		Implication		Availability of Ko-HAF Data	Planned Change Detection Method
	Point Feature	Geometry	Topology	Traffic Signs	Yellow Lines	Update	Remapping		
Fading out lane boundary		x				x			Specialized lane boundary detection method
Renewed lane boundary		x				x			Specialized lane boundary detection method
Lane boundary position		x		x	x		x	x	Evaluation of metrics on scan matching results
"Larger" Course Deviation		x	x	x	x		x	x	Analysis of vehicle trajectories
Boundary type		x	x			x			Specialized lane boundary detection method
Lane split		x	x	x	x		x	x	Evaluation of metrics on scan matching results
Lane merge		x	x	x	x		x	x	Evaluation of metrics on scan matching results
Lane driving direction		x	x	x	x		x		Evaluation of metrics on scan matching results
Road closure		x	x	x	x		x	x	Outdating of unoccupied roads
Traffic sign* existence	x					x			Specialized Feature Detection Method
Traffic sign* position	x					x			Specialized Feature Detection Method
Traffic sign* type	x					x			Specialized Feature Detection Method
Reflector post existence	x					x			Specialized Feature Detection Method
Reflector post position	x					x			Specialized Feature Detection Method

\* including overhead gantry signs and variable message signs

Abbildung 19: Klassifikation von möglichen Änderungen.

### 3.1.3.2.1 Verarbeitungskette zur Aggregation und Änderungserkennung

Die entwickelte Verarbeitungskette zur Aggregation und Änderungserkennung basiert hauptsächlich auf der Verwendung von Verfahren des Simultaneous Localization and Mapping (SLAM). Zur Vorbereitung der Entwicklung der Verarbeitungskette wurden u.a. die folgenden Vorarbeiten geleistet:

- Klassifizierung von möglichen detektierbaren Änderungen (siehe Abbildung 19) nach den Dimensionen: Punktgeometrien / Liniengeometrien (z.B. Leitpfosten / Spurmarkierungen), Auswirkungen auf Geometrie / Topologie (z.B. versetzte Fahrspur / neue Fahrspur), ohne Indikation / mit Indikation (z.B. abgefahrene Linienmarkierungen / Baustelle mit entsprechenden Hinweisen), umfangreiche / geringe Änderungsauswirkungen (Neukartierung im Änderungsgebiet notwendig / einfache Aktualisierung). Durch die Klassifizierung wurde deutlich, dass ein Zusammenspiel verschiedener, z.T. spezialisierter Änderungserkennungsalgorithmen nötig ist, um eine allumfassende und robuste Änderungserkennung durchzuführen. Mit der für Ko-HAF entwickelten graph- und punkt-feature-basierten Lösung können viele dieser Änderungstypen abgedeckt werden.
- Literaturrecherchen zu verschiedenen relevanten Themen (z.B. Map Matching, SLAM, Änderungserkennung)
- Erste Implementierungen für kleinere spezialisierte Änderungserkennungsmethoden, z.B. Prüfung auf das Fehlen von Einzelstrichsegmenten
- Konzeptionelle Prüfung des einzusetzenden Assoziationsverfahrens und Evaluation alternativer Verfahren: Untersuchung von verschiedenen Scan Matching Verfahren, u.a. um falsche Assoziationen zu detektieren und damit das Gesamtergebnis zu verbessern.
- Recherche und Überlegungen bezüglich Metriken zur quantitativen Auswertung von Matching-Ergebnissen (z.B. Hausdorff-Distanz)
- Erstellung eines Konzepts für die Modellierung der Kartendaten mit Hilfe eines SLAM-Graphs und Aufsetzen eines entsprechenden SLAM-Frameworks
- Entwicklung eines Gesamtkonzepts für die Aggregation und Änderungserkennung

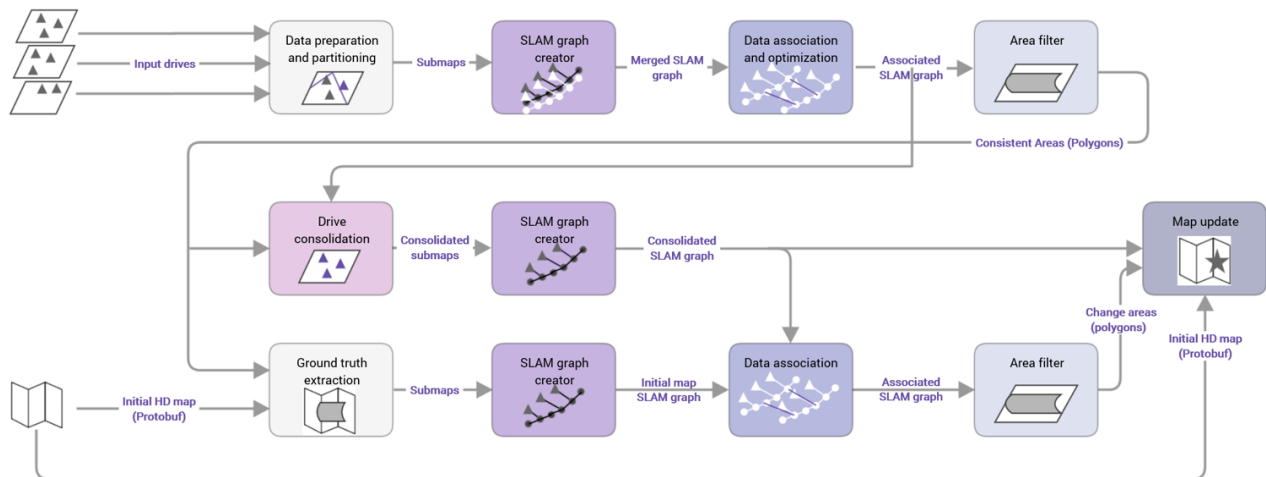


Abbildung 20: Detaillierte Verarbeitungskette zur Aggregation und Änderungserkennung.

Basierend auf diesen Vorarbeiten wurde eine Verarbeitungskette zur Aggregation und Änderungserkennung entwickelt und implementiert (siehe Abbildung 20). Als Eingangsdaten erhält die Verarbeitungskette die Daten mehrerer Einfahrten im AP1-Uploadformat sowie die initiale Referenzkarte im Protobuf-Format. Als Ergebnis werden alle Stellen, an denen eine Änderung vorliegt, zurückgeliefert und bei Bedarf eine Aktualisierung dieser Stellen in der Karte angeboten. Dabei werden nicht nur geänderte Spurverläufe und Linienmarkierungen erkannt, auch geänderte Punktfeatures wie Leitpfosten können mit ähnlichen, leicht modifizierten Methoden entdeckt werden.

Die Verarbeitungskette besteht im Wesentlichen aus vier Modulen, die nacheinander abgearbeitet werden:

- Aggregation und Konsolidierung der Fahrzeugdaten
- Ausschneiden und Aufbereiten der Referenzkartendaten
- Änderungserkennung
- Remapping

### Aggregation und Konsolidierung der Fahrzeugdaten

Im ersten Schritt werden zunächst die im AP1-Uploadformat vorliegenden Fahrzeugdaten eingelesen. Um später eine flexiblere Handhabung der Daten zu ermöglichen, ist es an dieser Stelle auch möglich, die Subkarten zu partitionieren. Da die weiteren Schritte auf dem SLAM-Konzept beruhen, werden die Inputdaten im nächsten Schritt in einen SLAM-Graphen überführt. Dabei ist jeder Knoten mit den in der Umgebung liegenden erkannten Liniendaten und Punkt-Feature-Daten sowie einer bestimmten, nicht notwendigerweise auf das Fahrzeug bezogenen Pose (Position im Raum und Orientierung) verknüpft (siehe Abbildung 21).

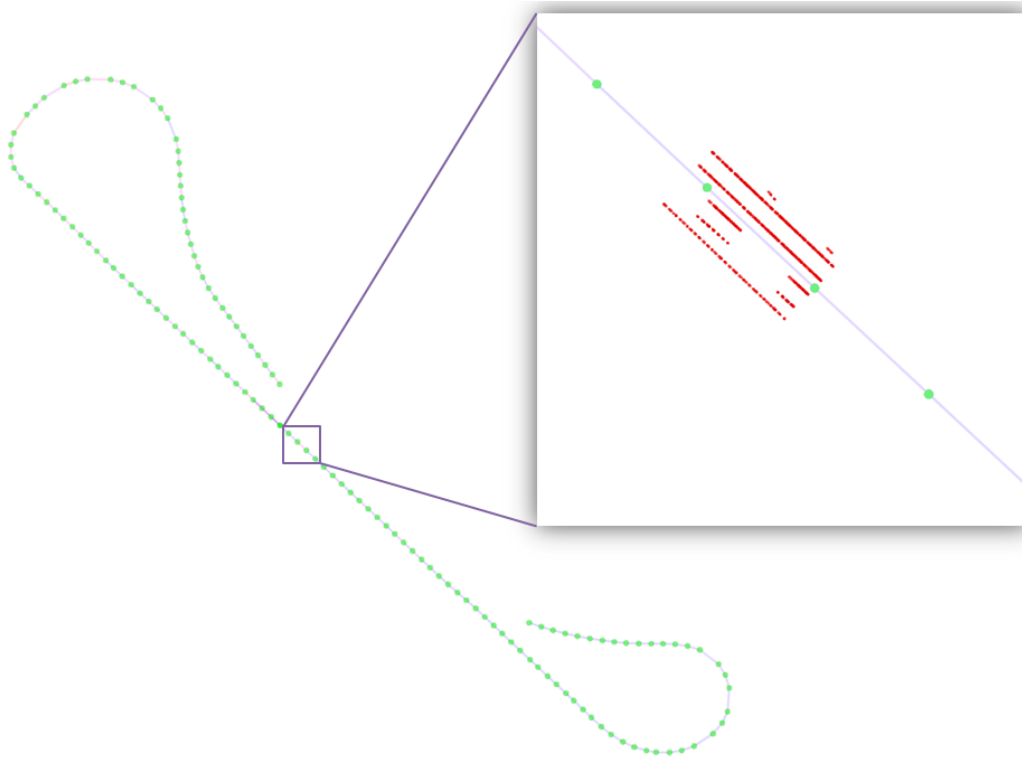


Abbildung 21: SLAM-Graph einer Befahrung der Dudenhofen-Teststrecke. Jeder Knoten enthält neben der Pose Punktwolken lokaler Linien- und Punktfeatures.

Um die Daten der verschiedenen Fahrten zu aggregieren und so den Einfluss von Mess-, Lokalisierungs- und Verdeckungsfehlern zu reduzieren, wird im nächsten Schritt eine Datenassoziation und Graphoptimierung durchgeführt. Dabei wird ein Scan Matching zwischen benachbarten Knoten durchgeführt. Liegt die Bewertung des Verfahrens (Score) unter einem bestimmten Schwellwert, so wird in den Graphen eine Kante zwischen den Knoten eingefügt, die der durch das Scan Matching bestimmten Transformation entspricht. Eine Optimierung verschiebt die Knoten basierend auf den vorliegenden Zwangsbedingungen. Im Weiteren werden die Assoziationskanten außerdem verwendet, um zu bestimmen, an welchen Stellen die Fahrzeugdaten konsistent sind. Liegen an einer Stelle viele Assoziationskanten vor, spricht dies für eine hohe Übereinstimmung der Fahrzeugdaten. In Gebieten mit wenigen Assoziationskanten hingegen sind die Fahrzeugdaten inkonsistent. Da es nur Sinn macht, die Änderungserkennung auf konsistenten Gebieten durchzuführen, werden ebenjene Gebiete mit dafür speziell im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Methoden bestimmt und der Graph wird auf diese Gebiete zugeschnitten (siehe grüne Fläche in Abbildung 22). In diesen Gebieten wird dann eine Konsolidierung durchgeführt, bei dem der Graph zu einem Einzelgraph verschmolzen wird und die Punktwolken konsolidiert werden.

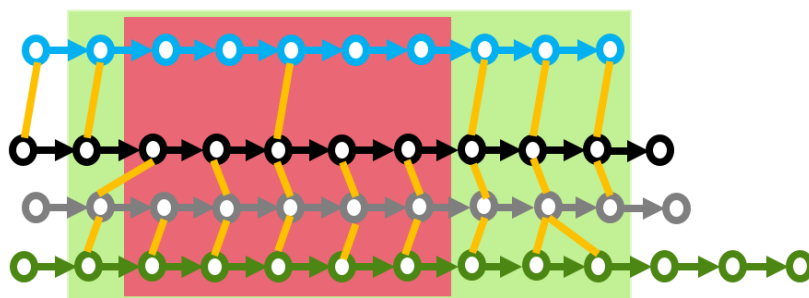


Abbildung 22: Schematische Darstellung der Idee der Änderungserkennung: In Gebieten mit einer hohen Dichte an Assoziationskanten (gelb) zwischen den Fahrtengraphen (schwarz, grau, grün) ist eine Änderungserkennung möglich (grün hinterlegt). In Gebieten mit einer niedrigen Dichte an

Assoziationskanten zwischen Referenzgraph (blau) und konsolidiertem Fahrtengraph ist eine Änderung wahrscheinlich (rot hinterlegt).

## **Ausschneiden und Aufbereiten der Referenzkartendaten**

In diesem Schritt werden aus der im Protobuf-Format zur Verfügung gestellten HAF-Karte die Gebiete herausgeschnitten, die im vorherigen Schritt als konsistent bestimmt wurden. Dabei wird in den betreffenden Gebieten ein Sampling der vorliegenden Linien durchgeführt sowie eine künstliche Trajektorie anhand der Straßentopologie erstellt. Die extrahierten Informationen werden dann zur weiteren Behandlung in einen SLAM-Graphen überführt.

## **Änderungserkennung**

Für die aggregierten Fahrten und für die HAF-Karte liegt nun in konsistenten Bereichen jeweils ein SLAM-Graph vor. Bei der Änderungserkennung werden beide Graphen miteinander verglichen und Stellen, an denen eine Änderung wahrscheinlich ist, markiert. Idee hierbei ist – ähnlich wie beim Finden konsistenter Bereiche – die Assoziationskanten heranzuziehen (siehe Abbildung 22). Dafür wird paarweise ein Knoten aus dem Referenzgraph und einer aus dem Fahrtengraph mittels Scan Matching miteinander verglichen und gegebenenfalls eine Assoziationskante eingefügt. Gebiete mit einer sehr geringen Dichte an Assoziationskanten werden dann bestimmt und als geänderte Gebiete markiert. Da in diesen Gebieten Assoziationskanten fehlen, ist eine tatsächliche Änderung dort sehr wahrscheinlich.

## **Remapping**

Im letzten Schritt muss die Referenzkarte in den als geändert markierten Gebieten neu erstellt werden. Dafür werden in diesen Gebieten die Informationen aus dem aggregierten Fahrtengraph verwendet, während in allen übrigen Gebieten aufgrund ihres größeren Informationsgehalts die vorliegende HAF-Karte weiterverwendet wird. Um einen kontinuierlichen Übergang an den Rändern der geänderten Gebiete zu erreichen, wird zuvor ein Optimierungsschritt des assoziierten Referenz-/Fahrtengraphen durchgeführt. Man beachte, dass es auf diese Weise nur möglich ist, eine neue Lokalisierungskarte zu erstellen.

Zur Evaluation der Verfahren wurde die Verarbeitungskette zunächst mit einer größeren Anzahl von realen Fahrten aus Feldversuchen auf der Opel Teststrecke Dudenhofen getestet. Um die erhaltenen Ergebnisse auf Plausibilität zu prüfen, wurden die Ergebnisse aller Zwischenschritte mit Hilfe von Visualisierungstools grafisch aufbereitet (visuelle Kontrolle). Diese visuellen Ergebnisse wurden auch im Rahmen der Abschlusspräsentation gezeigt, um eine einfachere Erklärung der Verfahren zu ermöglichen.

Die nachfolgende Beschreibung erläutert die Evaluation eines Szenarios mit einem künstlich geänderten Straßenverlauf auf der Teststrecke Dudenhofen. Hierzu wurden neun Fahrten zusammen prozessiert, aggregiert und für die Änderungserkennung verwendet. Die Rohdaten der neun Fahrten und die aggregierte / konsolidierte Sicht sind in Abbildung 23 und Abbildung 24 zu sehen.



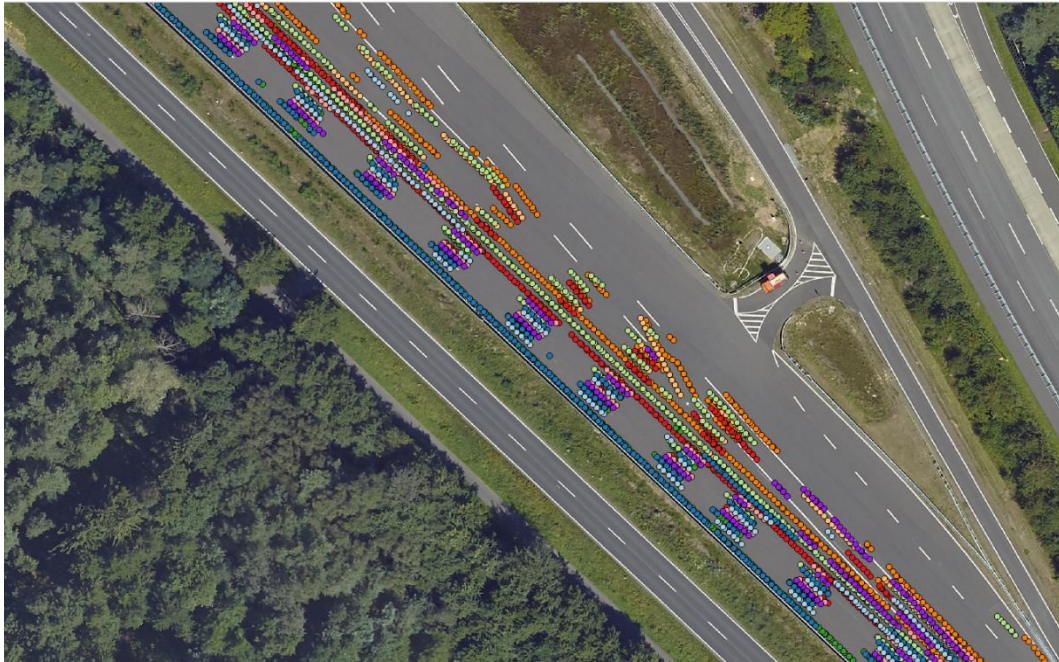


Abbildung 23: Detektierte Spurmarkierungen von neun Fahrten. Jede Farbe repräsentiert eine Fahrt.



Abbildung 24: Konsolidierung von neun Fahrten.

Zur Untersuchung der Änderungserkennung wurde die Referenzkarte der Teststrecke manuell geändert, um diese Änderung mit den implementierten Verfahren aufdecken zu lassen. Dabei wurden zwei verschiedene reale Situationen einer möglichen Änderung betrachtet: zum einen eine Änderung des Verlaufs der Fahrspur (siehe Abbildung 25) und zum anderen eine Änderung des Linientyps der Fahrspurmarkierung (durchgezogen statt gestrichelt, siehe Abbildung 26).





Abbildung 25: Eingefügte Änderung: Die Streckenführung wurde geändert.

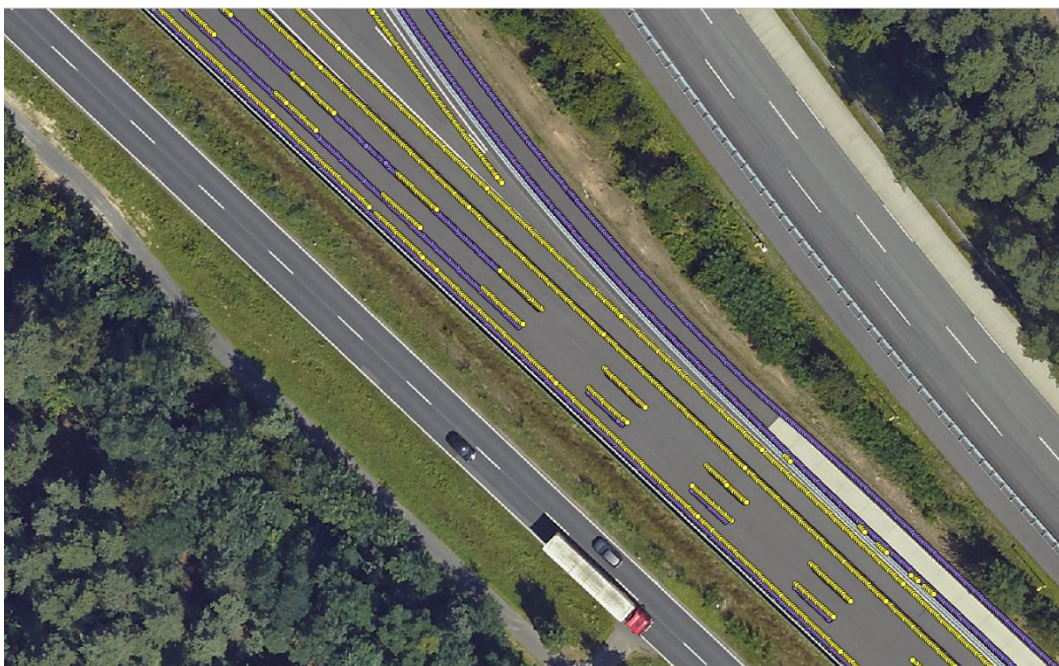


Abbildung 26: Eingefügte Änderung: Gestrichelte Linien wurden durch durchgezogene Linien ersetzt.

In beiden Fällen lieferte die implementierte Änderungserkennung die korrekten Änderungen zurück (siehe Abbildung 27 und Abbildung 28). Nachdem die Änderung erkannt wurde, wurde in dem jeweiligen Bereich eine neue Lokalisierungskarte erstellt und die vorhandene Referenzkarte integriert (siehe Abbildung 30). Eine ähnliche Untersuchung wurde auch für die Änderungserkennung von Punktfeatures (Leitpfosten, Verkehrszeichen etc.) erfolgreich durchgeführt (siehe Abbildung 29).



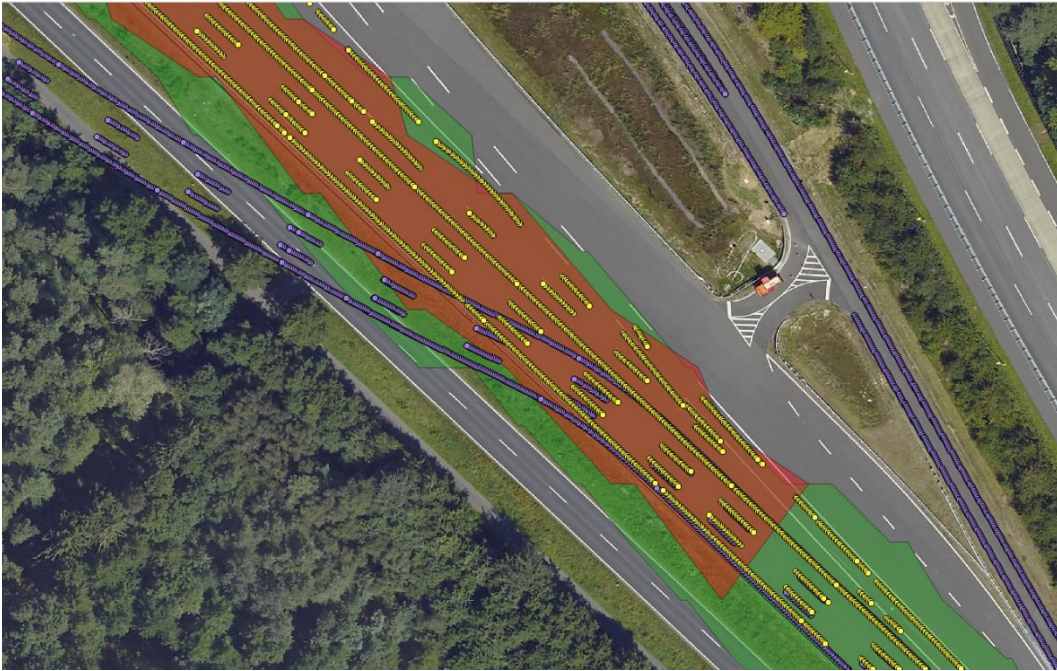


Abbildung 27: Der rote Bereich repräsentiert den korrekt gefundenen Änderungsbereich bei geänderter Straßenführung.



Abbildung 28: Der rote Bereich repräsentiert den korrekt gefundenen Änderungsbereich bei geänderten Spurmarkierungen.





Abbildung 29: Der rote Bereich repräsentiert den gefundenen Änderungsbereich für Punktfeatures.

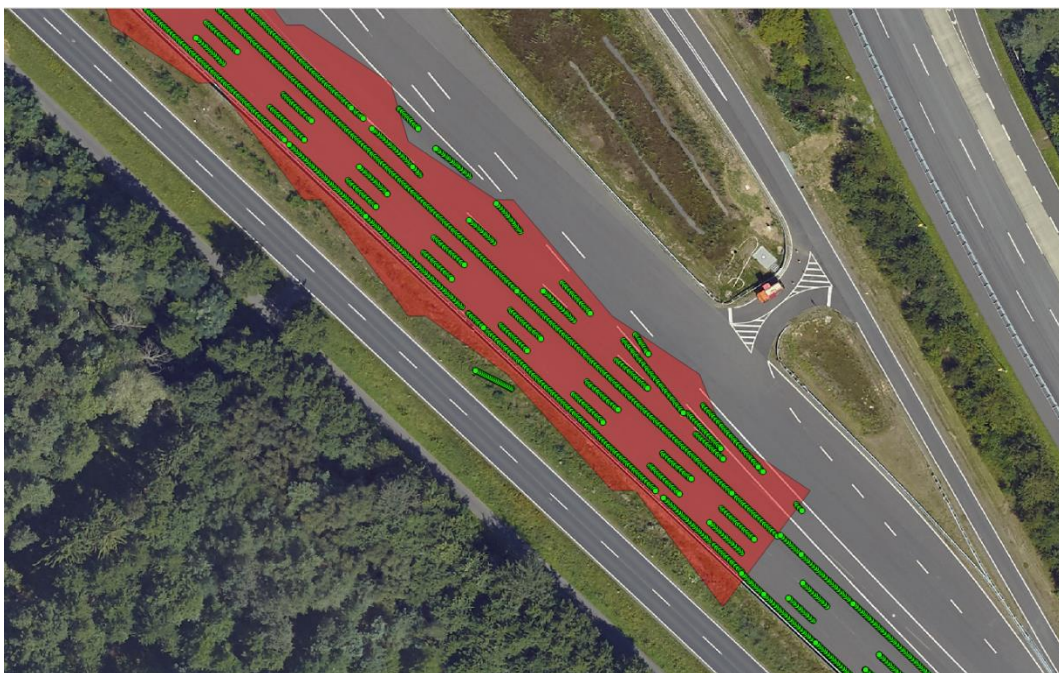


Abbildung 30 In dem roten Bereich wurde die Lokalisierungskarte durch die konsolidierte Sicht der neun Fahrten ersetzt.

Nach der qualitativen Evaluation des Änderungserkennungsverfahrens hinsichtlich seiner prinzipiellen Eignung, wurde zusätzlich eine Evaluation durchgeführt, um eine quantitative Aussage über die Detektionsrate des Verfahrens bei variierenden Eingangsdaten treffen zu können und somit ein vereinfachtes Maß für die Robustheit des Verfahrens zu berechnen.

Als Eingangsdaten wurden die bereits erwähnten neun Fahrten von der Opel Teststrecke in Dudenhofen sowie die Referenzkarte von der Teststrecke genommen. Die neun Fahrten enthielten aufgrund von unterschiedlichen Befahrungen der Spuren sowie aufgrund von unterschiedlichen Witterungsverhältnissen, Spurmarkierungen unterschiedlicher Qualität. Um eine Veränderung zu detektieren wurde die Referenzkarte wie in Abbildung 25 und Abbildung 26 geändert. Ziel war es, mit Hilfe der neun Fahrten die Änderung in der Referenzkarte robust zu



detektieren. Um zu zeigen, wie robust die Änderungserkennung bezüglich der Eingangsdaten funktioniert, wurden in 100 Durchläufen zufällig sechs Fahrten aus den neun Fahrten ausgewählt, konsolidiert und für die Änderungserkennung verwendet.

Anschließend wurde der detektierte Änderungsbereich mit dem vorgesehenen Änderungsbereich verglichen (siehe Abbildung 31). Waren die Polygone im Wesentlichen deckungsgleich (mehr als 70% der Flächen zueinander), so wurde die Änderungserkennung als erfolgreich gewertet.

Das Ergebnis der Evaluation ist wie folgt: In 81 von 100 Testläufen wurde die Änderung korrekt erkannt. Analysiert man die 19 Fälle, in denen die Änderung nicht korrekt erkannt wurde, so ist zu erkennen, dass dies im Wesentlichen auf die Unvollständigkeit der Eingangsdaten zurückzuführen ist. In den 19 Fällen wurden meistens genau die sechs Fahrten ausgewählt, in denen das Fahrzeug nur auf der äußerst rechten Spur gefahren ist und deshalb die Spurmarkierungen ganz links nicht erkannt wurden. Ein Abgleich mit der Referenzkarte führte folgerichtig zu einem zu groß erkannten Änderungsbereich. Eine Wiederholung der 100 Testläufe, dieses Mal mit sieben anstatt sechs Fahrten erhöhte konsequenterweise die Detektionsrate bereits auf 94 von 100.

Da dieses Verfahren für crowd-sourced Daten ausgelegt ist, bei der noch wesentlich mehr Datensätze zur Verfügung stehen und in diesen mit hoher Wahrscheinlichkeit alle Fahrspuren abgebildet sind, ist auch davon auszugehen, dass dieses Änderungserkennungsverfahren dort eine noch höhere Detektionsrate erreicht.



Abbildung 31: Detektierter Änderungsbereich (rot) und vorgesehener Änderungsbereich (blau).

Neben den Verfahren zur Änderungserkennung in statischen Kartendaten wurde in diesem Unterarbeitspaket noch theoretisch untersucht, wie sie Kartendaten über die Zeit verändern können: In einem Serienbetrieb eines Kartierungsservers kommen beim Einsatz von crowd-based Mapping kontinuierlich Daten aus der Fahrzeugflotte am Server an. Es ist daher auch prinzipiell möglich, Bereiche der Serverkarte als nicht aktuell zu kennzeichnen, wenn aus diesem Bereich über einen längeren Zeitraum keine Daten ankommen. Genauso kann die

fortwährende Bestätigung eines Kartenbereichs durch neue Daten aus der Flotte die Konfidenz in die Richtigkeit der Karte erhöhen. In Ko-HAF wurde basierend auf dieser Idee daher das Thema der sogenannten „Lernenden Karte“ verfolgt. Dazu wurden neben der oben beschriebenen Verarbeitungskette auch Konfidenzmodelle zur Kennzeichnung der Unsicherheit bezüglich veralteter / geänderter Kartenelemente entwickelt.

Da im Rahmen von Ko-HAF die Fahrzeugflotte nur bei Fahrversuchen zum Einsatz kam und entsprechend auch kein Serienbetrieb eines Safety Servers möglich war, sind die Daten nicht direkt zur Untersuchung der Konfidenzentwicklung geeignet, da sie nicht im statistisch relevanten Umfang vorlagen. Entsprechend ist die Untersuchung der lernenden Karte auf Basis von Simulationen durchgeführt worden. Die dazu erforderliche Simulationsumgebung wurde in Ko-HAF entwickelt und mit unterschiedlichen Konfidenzmodellen genutzt.

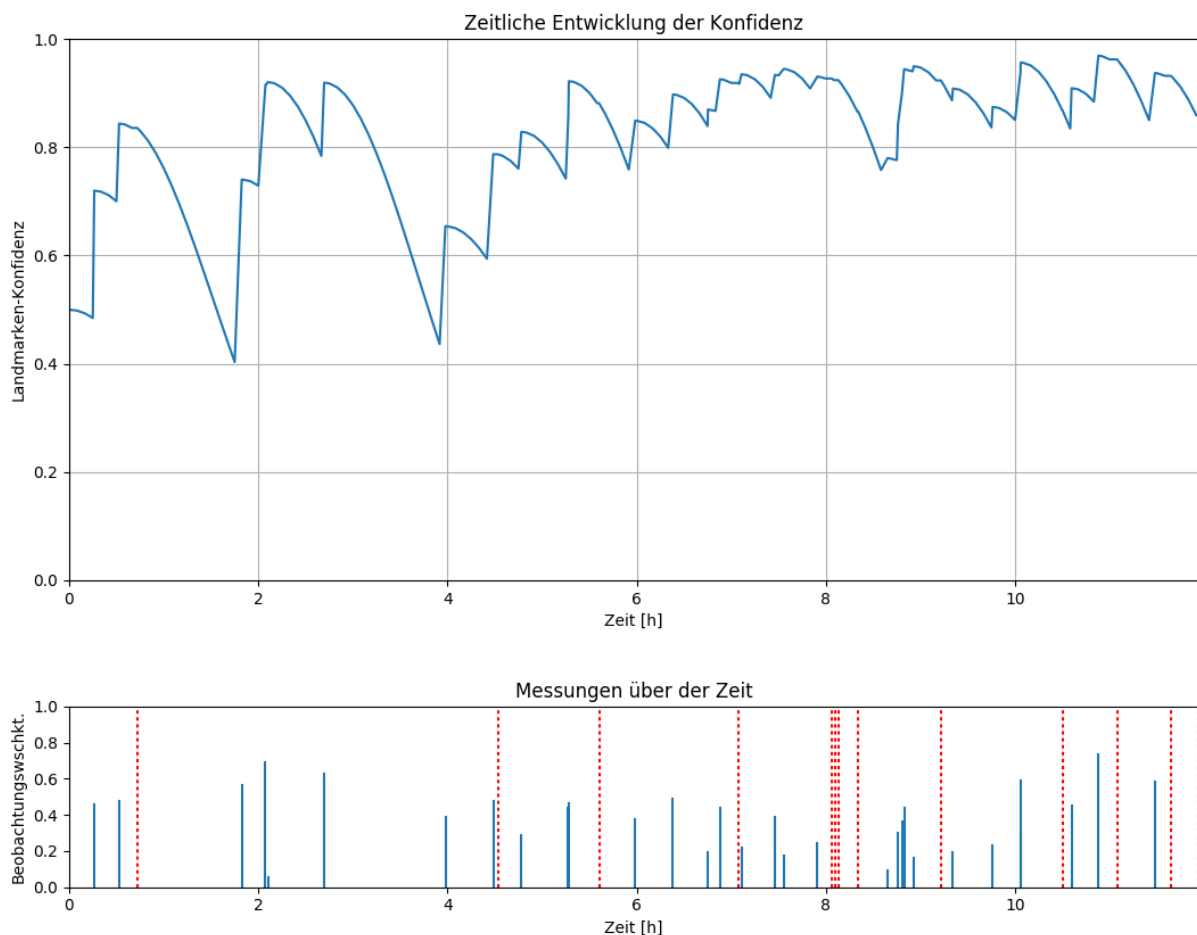


Abbildung 32: Simulation von Fahrzeugsichtungen einzelner Kartenattribute sowie der Entwicklung der Konfidenz in Abhängigkeit zu diesen Sichtungen und der Zeit.

Wie in Abbildung 32 beispielhaft dargestellt, wurde im Rahmen von Ko-HAF untersucht, wie sich die Konfidenz in die HAF-Karte über die Zeit entwickeln kann: In Abhängigkeit der verwendeten Modelle sinkt bzw. steigt die Konfidenz durch Fehlen bzw. Bestätigungen von Kartenattributen (obere Kurve, im dargestellten Modell steigt sie lediglich durch Bestätigungen) durch verschiedene Fahrzeuge. Zusätzlich sinkt die Konfidenz aufgrund der Zeit, wenn keine bestätigenden Sichtungen gemeldet werden (Alterungsprozess). Insgesamt sind drei Modelle entstanden, die das Ändern der Konfidenz basierend auf a) Alterungsprozessen, b) fehlenden Detektionen (z.B. durch Verdeckungen im Sensorbereich) und c) positiven Detektionen erlauben.

Neben diesen Untersuchungen zu statischen Kartendaten wurde im Rahmen dieses Unterarbeitspaketes wie nachfolgend beschrieben auch die Behandlung von Daten zur Mobilfunkabdeckung bearbeitet.

Grundlegende Aufgabe innerhalb des AP 1 ist es, das sichere und robuste hoch automatisierte Fahren bestmöglich durch die vom Safety Server bereitgestellten Karten und Verkehrsdaten zu unterstützen. Dazu wird zur Sicherstellung dieser Funktionalität insbesondere auch die Mobilfunkschnittstelle zwischen dem Server und den Fahrzeugen als eine sehr wichtige Komponente angesehen.

Das Mobilfunknetz muss dazu in der Lage sein, einen reibungslosen Datenaustausch zwischen dem Ko-HAF-Safety Server und den hoch automatisiert fahrenden Fahrzeugen zu gewährleisten.

Die Verfügbarkeit und die Qualität der Mobilfunkverbindung ist jedoch von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängig. Hierzu zählt u.a. die unterschiedlich ausgebaute Infrastruktur (Anzahl der verfügbaren Funktürme im Umkreis des Fahrzeuges) der Mobilfunkbetreiber. Aber auch andere sehr dynamische Einflüsse, wie z.B. die von der Tageszeit abhängige Anzahl der parallel in einer Funkzelle anwesenden Teilnehmer, aber auch Wetter wie Regen können die Empfangsqualität nachhaltig beeinflussen.

Entlang der Wegstrecke eines hoch automatisierten Fahrzeuges können sich diese Parameter entsprechend jederzeit ändern, sodass mit einem schnellen Wechsel von einer sehr guten Mobilfunkqualität hin zu einer schlechteren Qualität oder gar keiner Netzverfügbarkeit zu rechnen ist.

Im Rahmen des Forschungsprojektes Ko-HAF wurde daher untersucht, wie dieses grundlegende Problem bei der Fahrzeug-zu-Server-Kommunikation ebenfalls durch Informationen aus der hochgenauen Karte unterstützt werden kann. Die grundlegende Idee: In einer zusätzlichen Schicht der hochgenauen Straßenkarte stehen wichtige Informationen hinsichtlich der zu erwartenden Mobilfunkabdeckung zur Verfügung. Diese Informationen können von den Fahrzeugen dazu genutzt werden die zukünftige Datenübertragung entsprechend voraus zu planen.

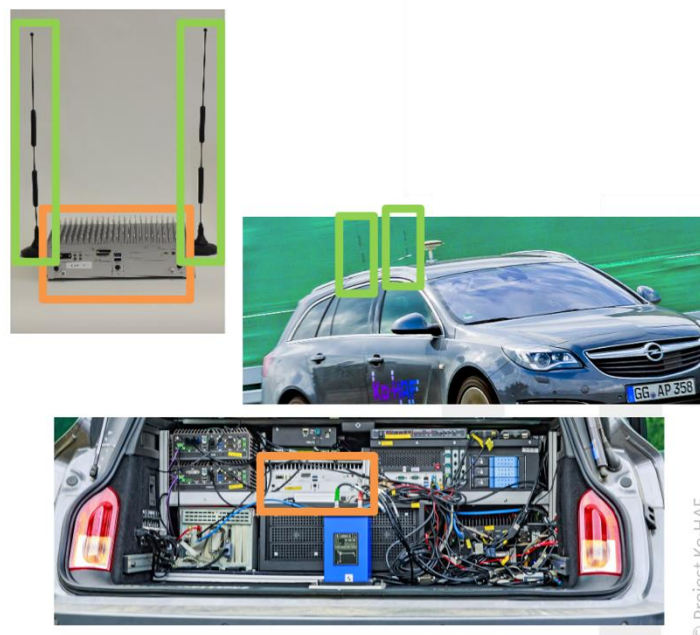


Abbildung 33: AP1 Kommunikationsbox und Antennen – extern und im Fahrzeug verbaut.

Kartenmaterial zum allgemeinen Netzausbau gibt es zwar bereits, zur Verfügung gestellt von den Mobilfunk Providern. Dieses ist jedoch für den in Ko-HAF benötigten Anwendungszweck ungeeignet.



Im Gegensatz zu einer tatsächlichen Qualitätskarte des Mobilfunknetzes (engl. Connectivity Map), beruhen diese Netzausbaukarten in der Regel nur auf mathematischen Modellen und geben nicht die vollständigen, benötigten Performance-Parameter wieder.

In Ko-HAF wurde im Verlauf des Projektes daher ein Verfahren konzipiert und implementiert, mit dem die im Rahmen der Testflotte zum Einsatz kommenden Fahrzeuge selbst die benötigten Netzwerkqualitätsparameter aufzeichnen und an den Safety Server zur Datenaggregation senden konnten.

Hierzu wurde die gemeinschaftlich von allen Projektpartnern genutzte AP1-Kommunikationsbox (siehe Abbildung 33) genutzt und deren bereitgestellte Schnittstellen hinsichtlich der aktuellen Mobilfunkparameter abgefragt. Die Verwendung dieser gemeinsamen Schnittstelle ermöglichte es vergleichbare Messergebnisse – im Hinblick auf die daran anschließende Aggregation der Daten – zu erzeugen. Neben einer Vielzahl von Parametern waren dies u.a. die besonders wichtigen Performance-Kenngrößen wie der Datendurchsatz, sowohl beim Download der Kartendatenupdates (vom Server zum Fahrzeug), als auch beim Upload der von den Fahrzeugen eingefahrenen Sensordaten auf den Safety Server zur Aggregation. Darüber hinaus wurden u.a. auch Messungen zur allgemeinen Signalstärke und zur Latenz der Verbindung durchgeführt. Die hierbei erzielten Ergebnisse sind beispielhaft in Abbildung 34 und Abbildung 35 dargestellt.

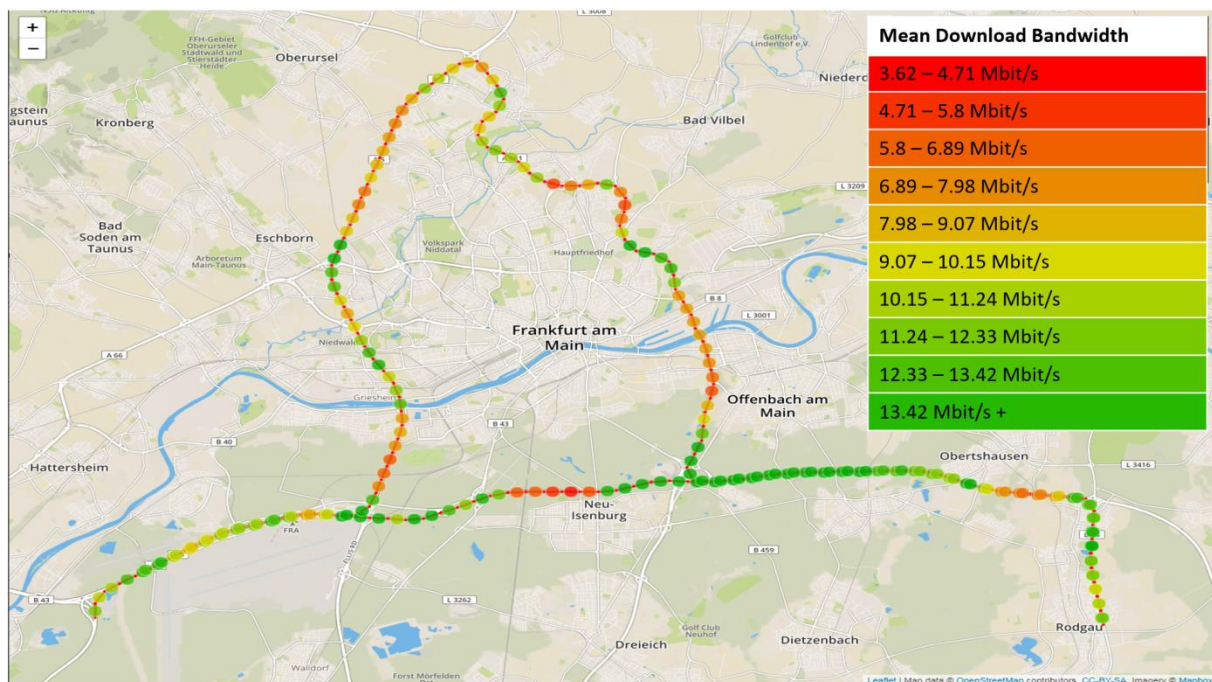


Abbildung 34: Darstellung der durchschnittlich gemessenen Downloadgeschwindigkeit entlang des Ko-HAF Testgeländes rund um Frankfurt herum.

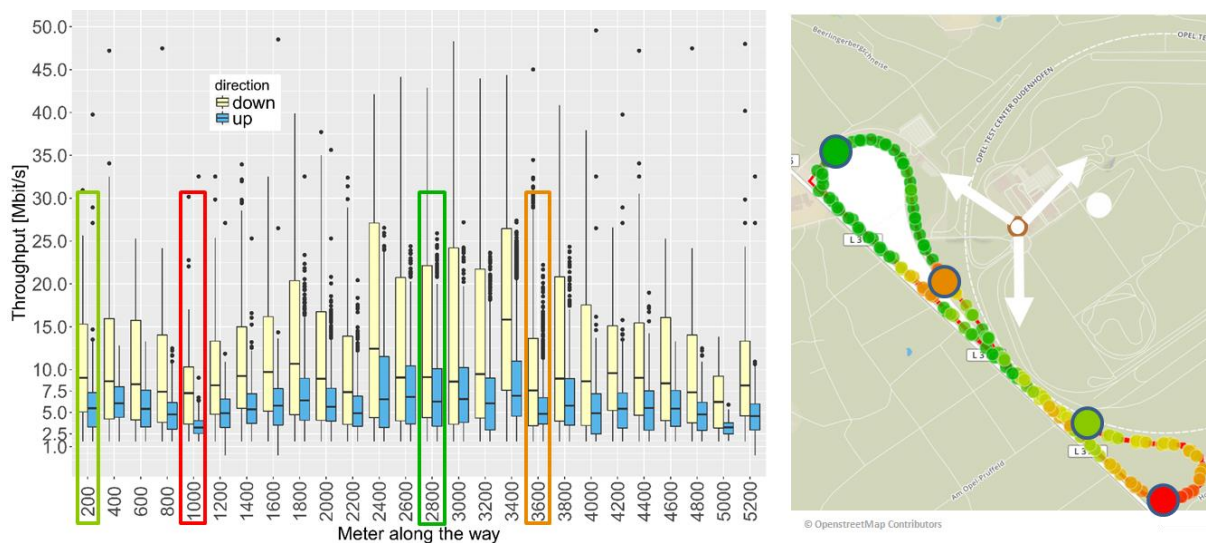


Abbildung 35: Detailbetrachtung der Upload- und Downloadgeschwindigkeit auf dem Opel Prüffeld in Rodgau Dudenhofen. Rechts: Mit weißen Pfeilen markiert ist der das Gebiet versorgende Funkturm und dessen drei Antennen mit ihrer durch Pfeile eingezeichneten Hauptstrahlrichtung.

Abbildung 34 zeigt die im Mittel der von den AP1-Boxen erreichten Downloadgeschwindigkeiten entlang der Ko-HAF Teststrecke rund um Frankfurt herum. Durch die erzielten Messergebnisse konnten deutliche Unterschiede hinsichtlich der lokal begrenzten erreichbaren Geschwindigkeit entlang der Wegstrecke festgestellt werden. Opel konnte somit den Nutzen der Netzqualitätskarte für das hochautomatisierte Fahrzeug nachweisen. Zeitlich begrenzte Einflüsse konnten durch mehrere Messkampagnen an unterschiedlichen Tagen und zu unterschiedlichen Uhrzeiten ausgeschlossen werden.

Insgesamt wurden im Zeitrahmen des Ko-HAF Projektes mehr als 3,3 Millionen einzelne Messungen des Mobilfunknetzes durchgeführt. Eine einzelne Messung bestand dabei immer aus der Ermittlung der drei Kenngrößen Upload-Geschwindigkeit, Downloadgeschwindigkeit und Umlaufzeit (ein Kriterium für die Latenz der Verbindung). Hierfür wurden insgesamt über 8.400 Testkilometer eingefahren und eine Datenmenge von mehr als 490 GByte verbraucht.

Abbildung 35 zeigt eine detailliertere Betrachtung und Gegenüberstellung der erzielten Upload- und Downloadgeschwindigkeiten auf dem Opel Prüffeld in Rodgau-Dudenhofen. Opel hat hierzu zur Unterstützung des Ko-HAF Projektes einen Ausbau der vor Ort befindlichen Netzwerkinfrastruktur des Mobilfunkproviders Vodafone auf den derzeit neuesten Mobilfunkstandard LTE erwirkt. Hierdurch konnte ein reibungsloser Betrieb auf dem Opeltestfeld während der Testfahrten sowie der Abschlusspräsentation gewährleistet werden.

Der Standort des vor Ort befindlichen Funkturms ist hierbei in der Kartenansicht rechts dargestellt. Die Hauptstrahlrichtungen seiner drei Antennen sind durch weiße Pfeile markiert. Besonders auffällig in den erzielten Messergebnissen sind die hohen Schwankungen der Messgrößen. Dennoch lassen sich auch auf der nur vier Kilometer langen Strecke bereits deutliche regionale Unterschiede bei den erzielten Leistungswerten feststellen. Im Bereich der Steilkurve (Streckenmeter 1000) wurden die niedrigsten Durchsatzraten erzielt. Dies ist zum einen auf die größtmögliche Entfernung zwischen Turm und Fahrzeug auf der Strecke zurück zu führen. Andererseits hat möglicherweise auch die dichte Bewaldung im Bereich der Steilkurve zu einer Verschlechterung des Signals beigetragen. Die höchsten Datenübertragungsgeschwindigkeiten wurden dagegen im Bereich des Skidpads im Norden der Teststrecke (Streckenmeter 2800) erzielt. Dies ist mitunter auf die fehlende Bebauung und Bewaldung in diesem Bereich zurück zu führen. Zudem liegt der Bereich in der Hauptstrahlrichtung einer der drei Mobilfunkantennen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in AP1 im Rahmen der Aggregationstätigkeiten der Mobilfunkdaten erfolgreich die Erzeugung und weitere Verwendung einer Mobilfunknetzkarte aus den von den Fahrzeugen eingefahrenen Sensordaten dargestellt werden konnte. Es ist also eine unterstützende Funktionalität einer solchen Netzkarte im Hinblick auf eine optimierte Datenübertragung für zukünftige hochautomatisiert fahrende Fahrzeuge zu erwarten.

### 3.2 AP2 Frontend (Umfelderfassung und -repräsentation im Fahrzeug)

Die Schwerpunkte der Arbeiten im AP2 lagen auf dem bidirektionalen Austausch von Umfelddaten zwischen Fahrzeug und Backend (UAP2.1), der hochgenauen Fahrzeug-Eigenlokalisierung (UAP2.2), und der Fusion von Sensordaten aus Onboard-Wahrnehmung und abgerufenen Backend-Daten (UAP2.3). Der Zusammenhang zwischen den drei UAPs 2.1-3 und ihrer Schnittstellen zum AP1 und AP4 werden in Abbildung 36 dargestellt. Die im Rahmen der UAPs erarbeiteten Ergebnisse sollen nachfolgend kurz zusammengefasst werden.

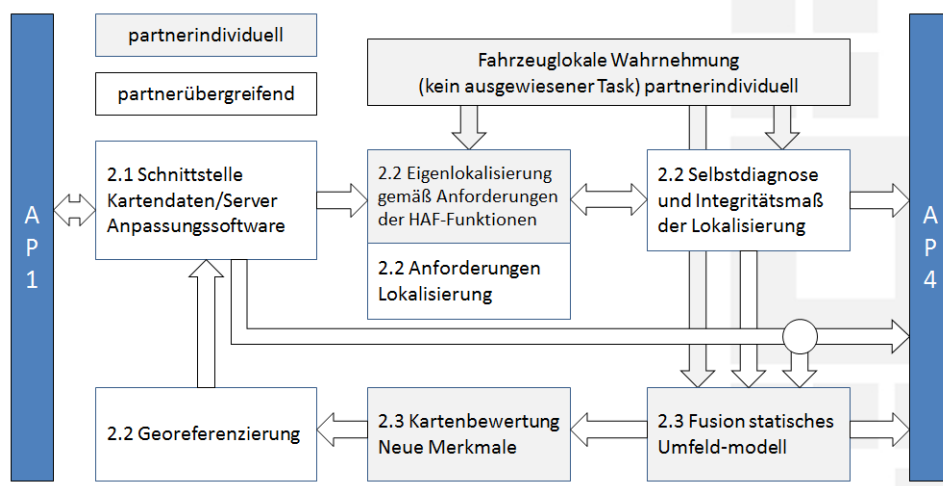


Abbildung 36: Übersicht der Unterarbeitspakete im AP2 und ihre Schnittstellen zum AP1 und AP4.

#### 3.2.1 UAP 2.1 Gewinnung und Kommunikation von Backend-Daten

Der UAP2.1 hatte zum Ziel, den bidirektionalen Datenaustausch bzgl. statischer und dynamischer Umfelddaten zwischen den Ko-HAF-Versuchsfahrzeugen und dem Safety Server zu ermöglichen.

Als statische Umfelddaten werden Fahrbahninfrastrukturelemente wie Markierungslinien, Verkehrszeichen und Leitpfosten bezeichnet. Als dynamische Umfelddaten werden kurzlebige Informationen, wie mobile Baustellen, Objekte auf der Fahrbahn und Liegenbleiber bezeichnet.

Hierzu ist partnerübergreifend ein Sensordatenaustauschformat auf Grundlage von SENSORIS spezifiziert worden, das es ermöglicht, sowohl statische als auch dynamische Umfelddaten an den Safety Server zu übermitteln. Bei SENSORIS handelt es sich um ein offenes Format, welches speziell für den Upload von Beobachtungen aus Fahrzeugen entworfen wurde. Im Rahmen von Ko-HAF waren Erweiterungen des Formats zur Abdeckung der spezifischen Anwendungszwecke notwendig. Diese wurden in Zusammenarbeit mit dem AP1 und AP4 identifiziert und umgesetzt. Kontinuierlich wurde das Format im Rahmen von Ko-HAF erweitert, z.B. hinsichtlich des Integritäts- und Gütemaßes, der Voraggregation von Beobachtungen, und dynamischer Observationen.

Durch den Safety Server aggregierte statische und dynamische Umfelddaten standen anschließend den Ko-HAF Versuchsfahrzeugen zur Nutzung im Rahmen der hochautomatisierten Fahrfunktion zur Verfügung und ermöglichten es die Sicherheit und den Komfort dieser durch die erhöhte Vorausschau zusätzlich zu erhöhen.

Die statischen Umfeldobservations wurden von den Ko-HAF Partnern in Form von Teilkacheln bereits im Fahrzeug voraggregiert (siehe Abbildung 37), um sowohl mobiles Datenvolumen zu sparen, als auch die robuste Assoziation multipler Messungen im Safety Server zu ermöglichen. Bei dynamischen Daten fand intentional keine Voraggregation statt, um die Latenz bei der Verarbeitung und somit der Warnung nachfolgender Fahrzeuge, z.B. vor Liegenbleibern oder Objekten auf der Fahrbahn, zu minimieren.

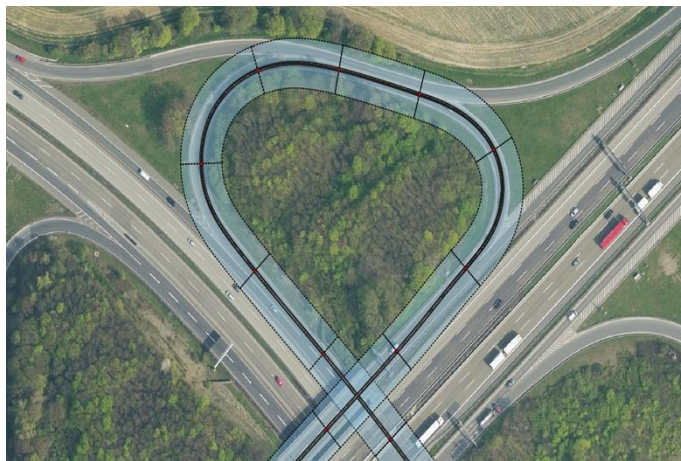


Abbildung 37: Voraggregierte Übermittlung von Umfeldinformationen durch ein Ko-HAF-Versuchsfahrzeug. Hierbei werden mehrere Landmarken-Observationen zu jeweils 50 Meter langen Teilkacheln zusammengefasst.

Im Rahmen von Ko-HAF wurde bzgl. der zu übermittelnden Daten festgelegt, dass ihre Georeferenzierung unabhängig von der jeweiligen digitalen Karte im Fahrzeug sein muss, da bei einem zukünftigen Serieneinsatz die Fahrzeuge prinzipiell über unterschiedliche digitale Karten verfügen können. Die Unabhängigkeit wurde im Rahmen von Ko-HAF u.a. durch die Verwendung von absoluten Weltkoordinaten für die Referenzierung von Sensorbeobachtungen erreicht.

Da die Georeferenzierung über eine einzelne Weltkoordinate nicht immer zu eindeutigen Ergebnissen führt, erfolgte die Georeferenzierung zusätzlich über einen Ausschnitt der gefahrenen Trajektorie des jeweiligen Fahrzeugs (siehe Abbildung 38). Zu diesem Zweck wurden, neben der Position des eigentlich zu übermittelnden Objekts auch noch weitere Positionen (in Weltkoordinaten) übermittelt. Durch den Vergleich der gefahrenen Trajektorie mit den Kartendaten konnte durch den Safety Server eine eindeutige Georeferenzierung erfolgen.



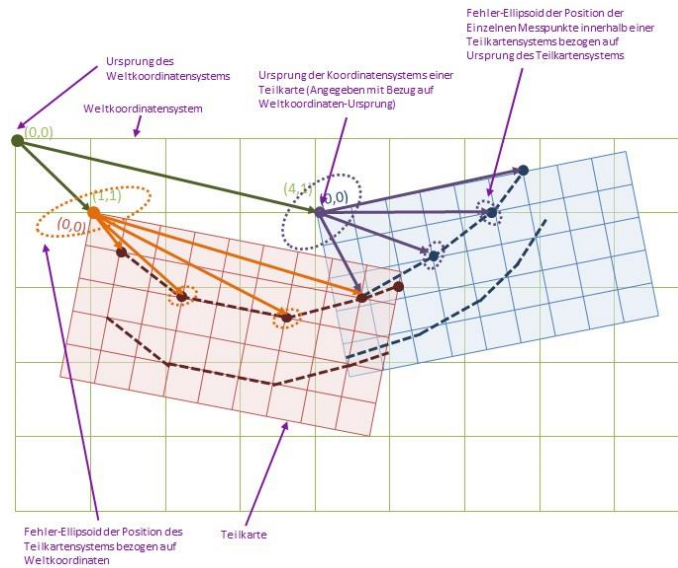


Abbildung 38: Gleichzeitige Verwendung eines absoluten und eines relativen Koordinatensystems zur Georeferenzierung von Landmarken.

Es wurde von allen Ko-HAF Partnern eine partnerindividuelle Umsetzung des Upload- und Downloadpfades erfolgreich vorgenommen und zur Zwischen- und Abschlusspräsentation demonstriert. Ferner wurden zahlreiche Sensordaten von den Partnern an den Safety Server mit dem Ziel der Aggregation übermittelt. In Summe wurden in der Zeitspanne vom Projektstart bis zur Abschlusspräsentation 8.423 km Sensordaten von zwölf Fahrzeugen eingefahren. Eine Visualisierung der akquirierten Daten als Heatmap wird in Abbildung 39 gezeigt.

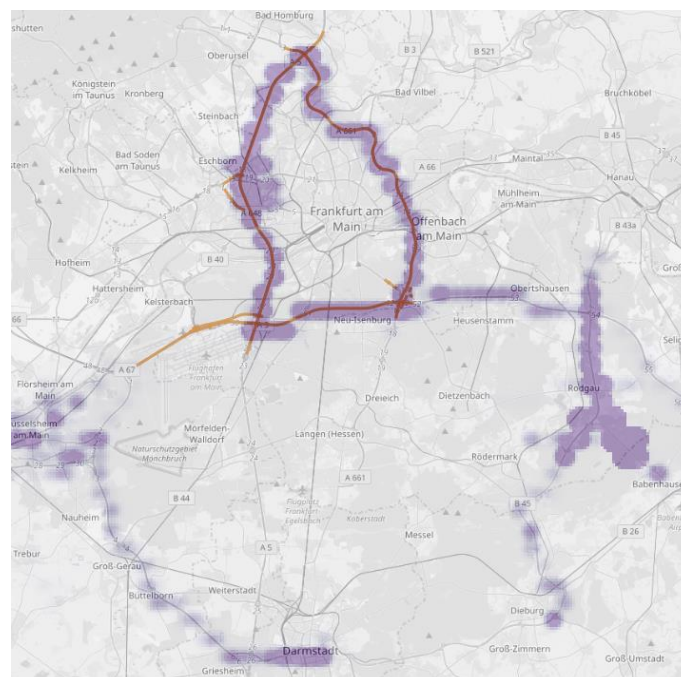


Abbildung 39: Heatmap der an den Safety Server übermittelten Sensordaten.

Neben der Bereitstellung von aktuellem Kartenmaterial auf Grundlage statischer Umfelddaten ermöglicht der Safety Server zusätzlich die Bereitstellung dynamischer Informationen, wie z.B. potenzieller Gefahrenstellen, die als zusätzlicher Layer über die digitale Karte gelegt werden können. Dieser zusätzliche Layer ermöglicht es die Sicherheit und den Komfort der hochautomatisierten Fahrfunktionen zusätzlich zu steigern.



Im Rahmen der Ko-HAF Abschlusspräsentation wurde das Hochsenden, Empfangen und Einspeisen dynamischer Informationen von den Partnern am Beispiel der Autobahn-Vollsperrung, kleiner Objekte auf der Fahrbahn (Skibox) und Liegenbleibern gezeigt (siehe Abbildung 40). Das Skibox-Szenario wird in Abbildung 41 im Detail gezeigt. Hierbei wird von einem Vorderfahrzeug ein Objekt auf der Fahrbahn an den Safety Server übermittelt. Nachfolgende Fahrzeuge, die sich in der Nähe der Gefahrenstelle befinden, werden anschließend vom Safety Server bzgl. der potenziellen Gefahrenstelle benachrichtigt. Die Information fließt im gezeigten Beispiel in die Trajektorienplanung der HAF-Funktion des nachfolgenden Fahrzeugs ein, welches vorausschauend einen Fahrstreifenwechsel und eine Reduktion der Geschwindigkeit durchführt.

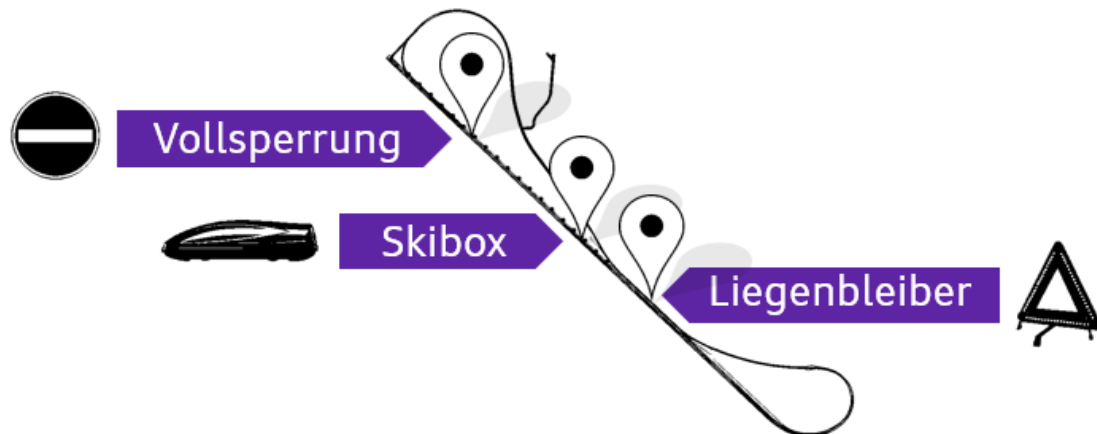


Abbildung 40: Die im Rahmen der Ko-HAF Abschlusspräsentation auf dem Prüfgelände in Dudenhofen berücksichtigten dynamischen Events: Autobahn-Vollsperrung, kleines Objekt auf der Fahrbahn (Skibox) und ein Liegenbleiber.



Abbildung 41: Das im Rahmen der Ko-HAF Abschlusspräsentation gezeigte Skibox-Szenario aus Vogelperspektive (Abbildung links). Hierbei wird das nachfolgende Fahrzeug durch das Vorderfahrzeug hinsichtlich der auf der Fahrbahn liegenden Skibox gewarnt. Die Gefahrenstelle wird im Rahmen der Trajektorienplanung der HAF-Funktion vorausschauend berücksichtigt (Abbildung rechts).

### 3.2.2 UAP 2.2 Fahrzeugeigenlokalisierung

Im UAP2.2 wurde ein partnerübergreifendes Konzeptpapier und darauf basierend partnerindividuelle Lösungen für die Eigenlokalisierung erarbeitet. Ferner ist die Funktionsfähigkeit des partnerübergreifend erarbeiteten Konzepts und der partnerindividuellen Implementierungen im Rahmen der Abschlusspräsentation erfolgreich gezeigt worden.

Die Anforderungen an die Fahrzeuglokalisierung für HAF wurden AP-übergreifend diskutiert und abgestimmt. In Tabelle 1 ist die final zwischen AP1, AP2 und AP4 abgestimmte Liste der Anforderungen an die Fahrzeug-Lokalisierung dargestellt.

Anforderungen	Definition	Audi	BMW	Bosch	Conti	Opel
<b>Absolute Fahrzeuglokalisierung (Global)</b>	<b>WGS84 unabhängig von Ko-HAF Karte Absolute globale Position ohne Landmarken → 'Georeferenzierung' in z.B. WGS84</b>					
Position update rate	Beobachtungen werden mit dieser Rate mit Positionsdaten attribuiert an das Backend gesendet.	10 Hz	<10 Hz	2 Hz	<5Hz	10-20 Hz
Koordinatensystem / Referenzpunkt	Koordinatensystem für absolute Positionsangaben	WGS84	WGS84; Ref.punkt: Mittlere Hinterachse	WGS84; Ref.punkt: Fahrzeugfront	WGS84	WGS84 (ggfs. projiziert)
Horizontal position accuracy: (keine lat / long Werte)	Genauigkeit der absoluten Position in der horizontalen Ebene	<1,0m @ 2σ (open sky)	0,5m @ 3σ, (open sky, normal driving)	4m @ tbd σ, (open sky, normal driving)	4m @ 3σ, (open sky)	2,0m @ CEP (open sky)
Vertical position accuracy (Höhe)	Genauigkeit der absoluten Position in der vertikalen Ebene (Höhe)	<2,0 m @ 2σ (open sky)	1m @ 3σ, (open sky, normal driving)	2m @ tbd σ, (open sky, normal driving)	2m @ 1σ, (open sky)	2,0m @ CEP (open sky)
Heading accuracy (Richtung von Fahrzeug Geschwindigkeitsvektor)	Genauigkeit der Angabe des Geschwindigkeitsvektors / Fahrzeugorientierung	< 2deg @ 1σ, open sky	< 2deg @ 1σ, open sky, v ≤ x kmh, 0,5deg @ xσ, open sky, v > x km/h	< 2deg @ 1σ, open sky	1deg @ 2σ, open sky, v > 5km/h	< 3deg @ 1σ > x km/h
Stillstandserkennung	Bis zu welcher Geschwindigkeit soll ein Fahrstillstand erkannt werden	<1km/h	keine Anforderungen	<1km/h	keine Anforderungen	keine Anforderungen
Position age	Zeitverzug für Rückmeldungen von dynamischen Beobachtungen (Landmarken) an Safety Server	~2-5s	~1s	200ms	~2-5s	~2-5s
Time stamp accuracy	Genauigkeit des Zeitstempels einer Beobachtung die an den Safety Server gemeldet werden	<200ms	~1s	600ms	>1s - <1min	>1s
Time To First Fix (TTFF)	Zeitverzug nach dem Systemstart bis zur ersten Position gemäß Anforderung	< 1min	weniger als 25s @ 3σ (open sky, bis zu x km/h)	weniger als 1s @ x σ (open sky, bis zu 130km/h)	weniger als 30s (open sky)	< 30s (open sky, warm)

Relative Fahrzeuglokalisierung	Relativ zur Fahrbahn (Anforderung der HAF-Funktion)	Audi	BMW	Bosch	Conti	Opel
Position update rate	Rate mit der relative Positionsdaten für HAF Funktionen bereitgestellt werden	20 Hz	10 Hz	20 Hz	20 Hz	20 Hz

Koordinatensystem / Referenzpunkt	Fahrzeug Bezugspunkt für relative Positionsangaben	Fahrzeugfest, Mitte Hinterachse projiziert auf den Boden (VW Konzern Standard) DIN70000	Mittlere Hinterachse	Mittlere Hinterachse	Fahrzeug XYZ System	Fahrzeugfesten Achsen-system (DIN 8855)
Horizontal position accuracy (Unterscheiden zwischen Lat und Long relativ zur Fahrbahn)	Genauigkeit der relativen Position in der horizontalen Ebene in Fahrtrichtung und senkrecht dazu	+/-0,1m (lat) @ 3σ >1,0m - <2,0m (long) @ 3σ	0,1m @ 3σ (lat) tbd (long)	0,15m @ 3σ	0,25m (lat) @ 3σ 2,0m (long) @ 3σ	0,2 m (lat) @ 3σ 2,0m (long) @ 3σ
Heading accuracy (Richtung von Fahrzeug Geschwindigkeitsvektor)	Genauigkeit der Angabe des Geschwindigkeitsvektors / Fahrzeugorientierung	<1deg @ 3σ	0,2deg @ 3σ	<1deg @ 3σ	1deg @ 3σ	3deg @ 3σ
Position age	Zeitverzug der relativen Positionsdaten die für HAF Funktionen bereitgestellt werden (z.B. durch Laufzeit der Signalverarbeitung)	<100ms (bekannt + konstant)	<20ms (Wert muss bekannt sein)	< 200ms	<250ms	<100ms (bekannt + konstant)
Time stamp accuracy	Genauigkeit des Zeitstempels einer relativen Position die für HAF Funktionen bereitgestellt werden	<5ms	<0,01ms	<5ms	<5ms	<5ms

Tabelle 1: Wirkketten- und damit Partner-spezifische Anforderungen an die Fahrzeuglokalisierung.

Von Audi wurde eine kombinierte Lösung für die hochgenaue Fahrzeuglokalisierung und das statische fusionierte Umfeldmodell mittels SLAM (= Simultaneous Localization and Mapping) erarbeitet. Hierbei wird ein rechentechnisch aufwändiges, aber nachweislich mathematisch optimales Verfahren mittels Bündelausgleichs verwendet. Die Abbildung 42 zeigt die robuste Lokalisierung des Ko-HAF Versuchsfahrzeugs unter idealen Bedingungen, d.h. minimale Abweichungen zwischen on-board Wahrnehmung und digitaler Karte. Die Abbildung 43 zeigt die robuste Lokalisierung unter erschwerten Bedingungen, d.h. bei vorhandenen größeren Abweichungen zwischen on-board Wahrnehmung und digitaler Karte.

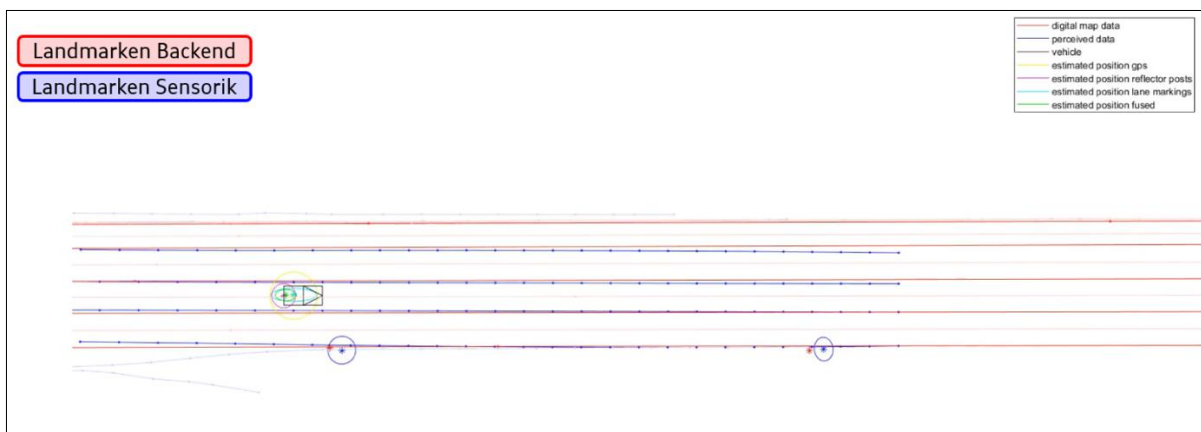


Abbildung 42: Hochgenaue Fahrzeuglokalisierung durch die Verwendung von Punkt- und Linien-förmiger Merkmale aus on-board Wahrnehmung und digitalen Kartendaten. Beispiel, welches eine robuste Lokalisierung unter Idealbedingungen, d.h. eine minimale Abweichung zwischen digitaler Karte und Wahrnehmung zeigt.

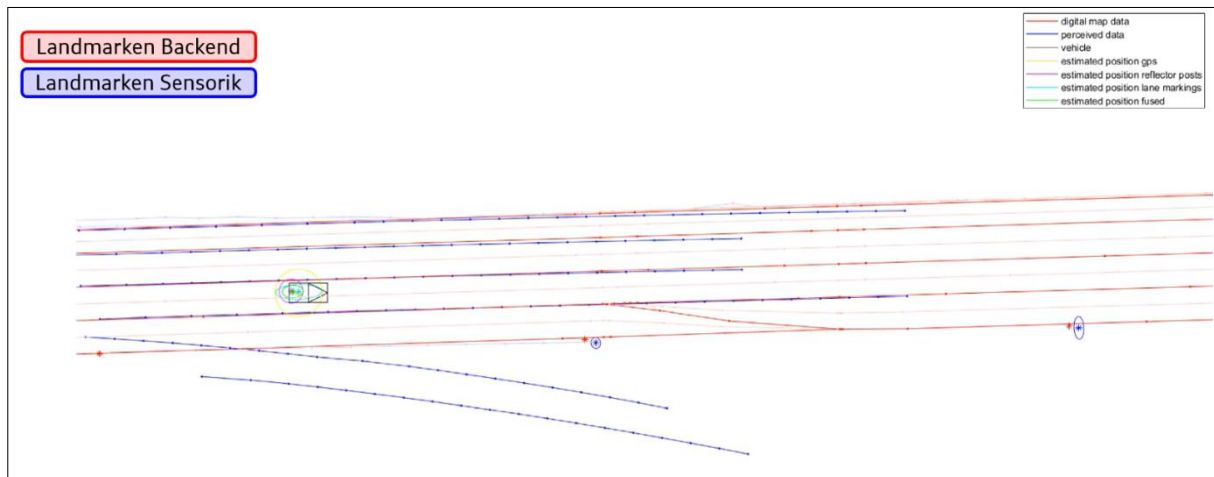


Abbildung 43: Hochgenaue Fahrzeuglokalisierung durch die Verwendung von Punkt- und Linien-förmiger Merkmale aus on-board Wahrnehmung und digitalen Kartendaten. Beispiel, welches die robuste Lokalisierung trotz Abweichungen zwischen digitaler Karte und Wahrnehmung zeigt.

Bei BMW stand die Realisierung einer redundanten Eigenlokalisierung im Fokus. Die erforderliche Redundanz wurde dabei über die Verwendung dreier verschiedener Messprinzipien erzielt:

- Lokalisierung mit GPS und Korrekturdaten,
- Lokalisierung durch Abgleich von Landmarken (Schildern, Spurmankierungen) zwischen digitalen Kartendaten und Kamera (siehe Abbildung 44),
- Lokalisierung durch Abgleich von Laserscanner-Punktwolken mit Punktwolken aus den aufgezeichneten Kartendaten (siehe Abbildung 45).

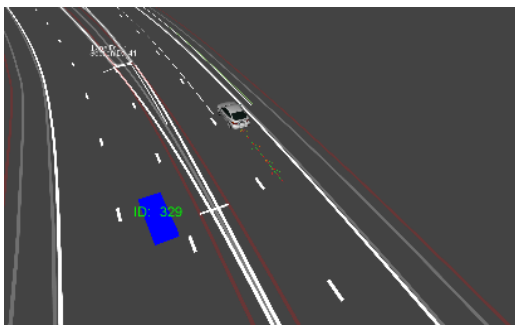


Abbildung 44: Lokalisierung über Spurmankierungs-Abgleich.

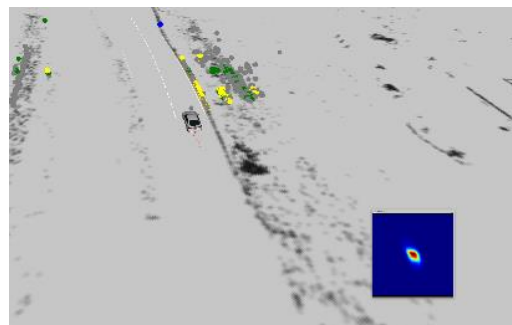


Abbildung 45: Lokalisierung über Punktwolken.

Die redundanten Messungen wurden zusammen mit Odometriedaten fusioniert. Die Fusion erfolgte dabei mittels eines Unscented-Kalman-Filters. Zur Kontrolle der Lokalisierungsqualität wurde ein Hidden-Markov-Modell verwendet. Dieses wurde genutzt, um die Güte der einzelnen Beobachtungen, d.h. ihre Integrität, zu schätzen. Die Redundanz der einzelnen Schätzungen bildete die Grundlage für die Berechnung eines Integritätsmaßes gemäß der partnerübergreifend abgestimmten Anforderungen.

Seitens Continental Teves wurde die Einbindung einer Lokalisierung auf Basis eines Surroundview-Systems realisiert. Da die Monokamera in bestimmten Situationen die laterale Position des Fahrzeugs nicht sicher erkennt, kann diese in den speziellen Fällen nicht mehr als Eingangssignal der Fusion genutzt werden. Über die Einbindung eines Continental Surroundview-Systems konnte dieser Einfluss kompensiert und die Genauigkeit und Robustheit der Lokalisierung deutlich erhöht werden. Die Abbildung 46 zeigt zwei Situationen, in denen die Monokamera allein nicht in der Lage ist die laterale Position des Fahrzeugs mit der

nötigen Genauigkeit zu ermitteln. Durch die Nutzung des Surroundview-Systems konnte die Position im Rahmen der Fusion dennoch genau ermittelt werden.



Abbildung 46: Fusionierte Fahrzeugposition unter Einbindung der Surroundview Kameras (grün), GPS-Position (blau), Prädiktion der lateralen Position rein über Monokamera MFC430 (markiert).

Bei Opel wurden drei verschiedene Ansätze für die Lokalisierung mittels Kalman-Filter, Partikelfilter, und Graphoptimierung umgesetzt. Während der Kalman-Filter lineare / linearisierte Modelle voraussetzt und eine Normalverteilung für deren Rauschen annimmt, kann der Partikelfilter beliebige Fehler-Verteilungen approximieren und nichtlineare Observations- und Prädiktions-Modelle annehmen. Die Idee eines graphenbasierten Ansatzes (Posen-Graphen) ist es, das Lokalisierungsproblem als Least-Squares-Optimierungs-Problem zu repräsentieren und zu lösen. Daraus ergeben sich weitere Freiheitsgrade im Vergleich zum Kalman- und Partikelfilter die es ermöglichen, die Lokalisierungslösung genauer und robuster zu gestalten.

Die Abbildung 47 zeigt die drei von Opel erarbeiteten Lokalisierungsansätze für ein Spurwechsel-Szenario auf der langen Geraden in Dudenhofen. Vorteil des implementierten Posen-Graphen ist es, dass Zwangsbedingungen, wie z.B. Beschränkungen der Rollwinkel, eingebunden und der Einfluss von Ausreißern über Gewichtungsfunktionen beschränkt werden können. Außerdem können komplexere, nichtlineare Fehlerterme in das Optimierungsproblem eingebunden werden. Da die Funktionen im Fahrzeug unterschiedliche Anforderungen an die Lokalisierung haben, wurden mehrere Posen-Graphen umgesetzt. So wird z.B. für die Georeferenzierung von Landmarken für den Upload an den Safety Server keine Karte verwendet. Für eine glatte, spurrelative Positionierung wird auf die Einbindung absoluter Sensordaten verzichtet. Zur Initialisierung für den Kartenabgleich wird ein rein auf GNSS und Odometrie beruhender Posen-Graph berechnet. Eine erste Analyse der Ressourcen-Auslastung hat ergeben, dass der Posen-Graph-Ansatz hinreichend schnell, d.h. in Echtzeit, im Fahrzeug berechnet werden kann.

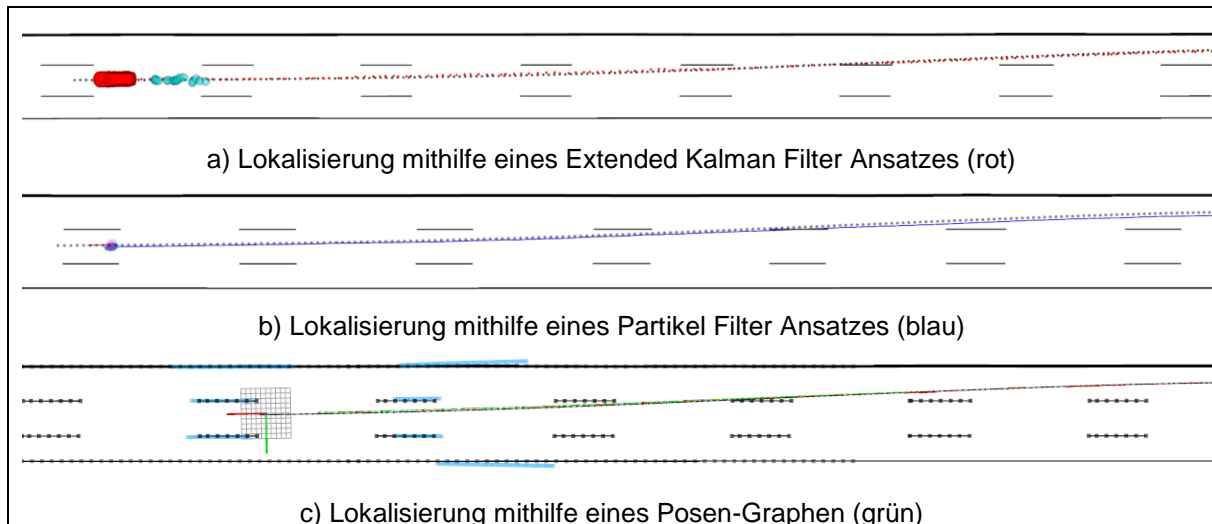


Abbildung 47: Gegenüberstellung verschiedener Lokalisierungsalgorithmen bei einem Spurwechsel auf der Langen Geraden in Dudenhofen.

Für die Absicherung der Eigenlokalisierung im Kontext des hochautomatisierten Fahrens ist eine Selbstdiagnose mit Integritätsmaß zwingend notwendig. Diese erfüllt im Kontext von Ko-HAF primär folgende beiden Funktionen:

- Die Absicherung der Eigenlokalisierung: Es wird ermittelt, ob die Eigenlokalisierung integer ist. Auf diesem Weg soll eine gezielte Degradationsstrategie der HAF-Funktion im Bedarfsfall eingeleitet werden können.
- Die Absicherung der Georeferenzierung von Landmarken Observationen: Durch das mitgesendete Integritätsmaß, soll eine Verfälschung von Landmarkeninformationen in der vom Backend durch Aggregation bestimmten hochgenauen Karte verhindert werden.

Im Rahmen vom AP2 wurde hierzu ein Konzept erarbeitet, welches beide Anforderungen an das Integritätsmaß bestmöglich erfüllen soll. Im ersten Schritt wurden hierzu die Begriffe „Integrität“ und „Güte“ eindeutig definiert (siehe Konzeptpapier). Es wurde entschieden, dass die Selbstdiagnose der Fahrzeuglokalisierung für die HAF-Funktion mit Hilfe eines partnerübergreifend abgestimmten Integritätsmaßes sichergestellt werden soll. Ferner wurde partnerübergreifend festgelegt, dass nur wenn die spezifische Selbstdiagnose eine integrale Fahrzeugeigenlokalisierung bestätigt, observierte Landmarkendaten an das Backend propagiert werden sollen. Für das Backend wiederum wurde ein weiteres Maß beschlossen, welches die Integrität der bereitgestellten Landmarkendaten sicherstellen soll: die Existenzwahrscheinlichkeit. Die Existenzwahrscheinlichkeit geht gewichtend in die Aggregation der Landmarken Observationen ein und wird den Fahrzeugen in Form einer kombinierten Gesamt-Existenzwahrscheinlichkeit als Landmarken-Attribut zur Verfügung gestellt. Der vollständige Kreislauf mit Landmarken-Upload durch ein Fahrzeug (2), Datenaggregation durch den Safety Server (3), und Landmarken-Download durch ein Fahrzeug (1) ist in Abbildung 48 dargestellt.



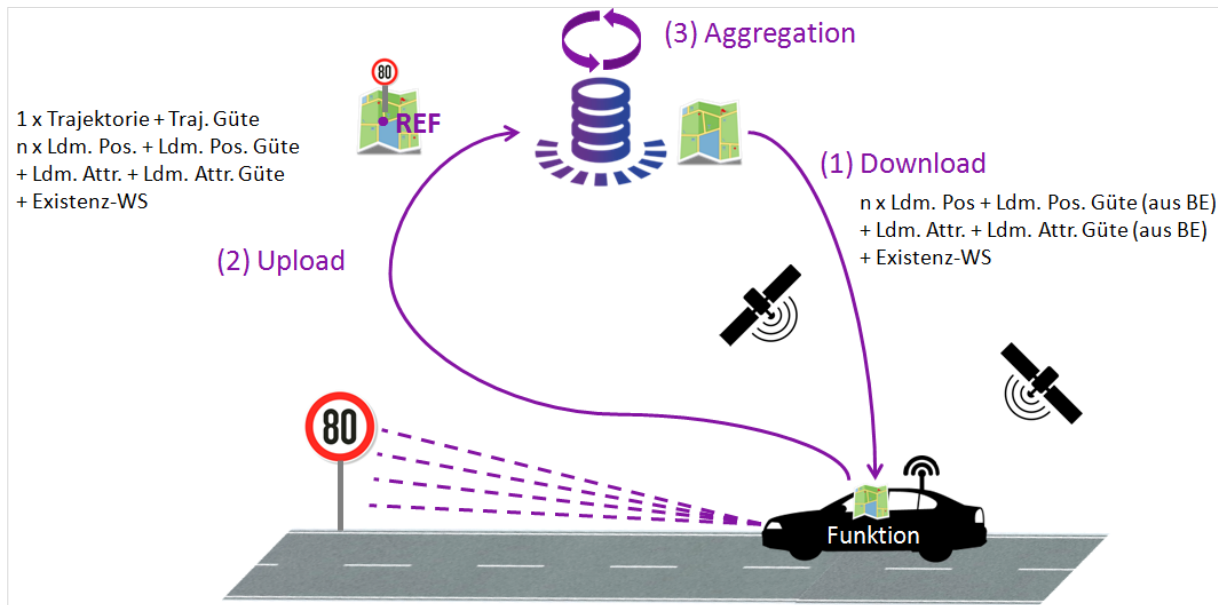


Abbildung 48: Durgängige Bereitstellung von Güte- und Integritätsmaßen für den Up- und Download von observierten und aggregierten Landmarken.

Das Konzept sieht in seiner finalen Form zwei Stufen vor, die zum einen eine partnerindividuelle Implementierung des Maßes ermöglichen und zum anderen eine Vergleichbarkeit der Daten sicherstellen:

### 1. Partnerindividuelle Berechnung der Single-Frame-Existenzwahrscheinlichkeit (SFE) von Landmarken

Jeder Partner ermittelt auf Basis der ihm zur Verfügung stehenden Sensordaten einen Wert für die zu einem bestimmten Zeitpunkt herrschende Existenzwahrscheinlichkeit einer Landmarke (Single-Frame-Existenzwahrscheinlichkeit). Diese steht für die Wahrscheinlichkeit, mit der eine erkannte Landmarke tatsächlich existiert, unter Berücksichtigung von Wettereinflüssen (Nebel, Regen etc.) oder Verdeckungen durch andere Verkehrsteilnehmer.

### 2. Vorverarbeitung der Single-Frame-Existenzwahrscheinlichkeiten im Fahrzeug mit einem Binary Bayes Filteransatz

Die partnerindividuell ermittelten SFEs für eine Landmarke in einer Teilkachel werden im zweiten Schritt vor dem Upload an den Safety Server über einen Binary Bayes Filter vorverarbeitet, der partnerübergreifend definiert wurde. Die stark polarisierende Eigenschaft des Filters mit Konvergenz gegen 0 bzw. 1 ermöglicht dem Safety Server eine zuverlässige Auswahl von als integer erkannten Landmarken für die Datenaggregation und stellt gleichzeitig eine Vergleichbarkeit der Daten von verschiedenen Partnern her. Eine beispielhafte Applikation des Filters ist in Abbildung 49 dargestellt.

Das gemeinsam erarbeitete Konzept wurde von den Partnern umgesetzt, intensiv erprobt und zur Abschlusspräsentation demonstriert.

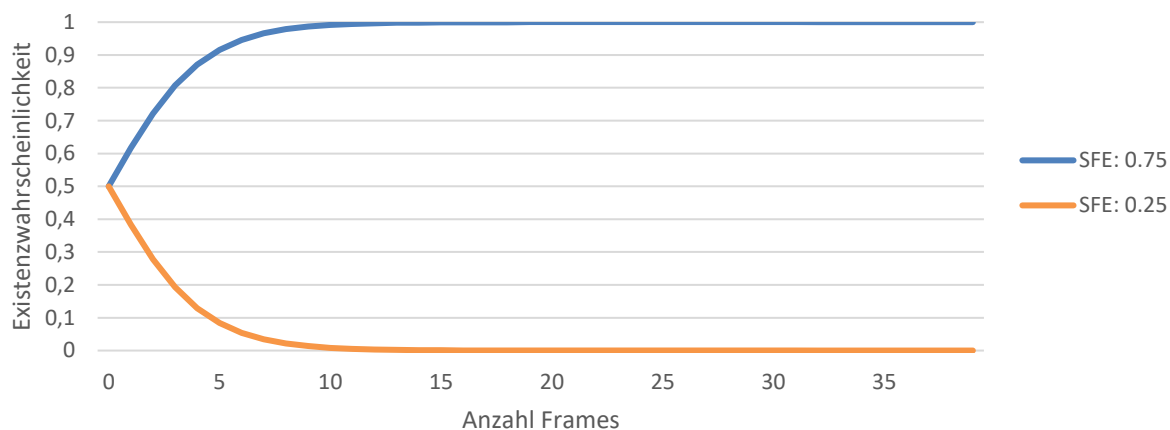


Abbildung 49: Beispielhaftes Ergebnis des Binary Bayes Filters für konstante Single-Frame-Existenzwahrscheinlichkeiten (SFE) von 0,75 (blau) und 0,25 (orange).

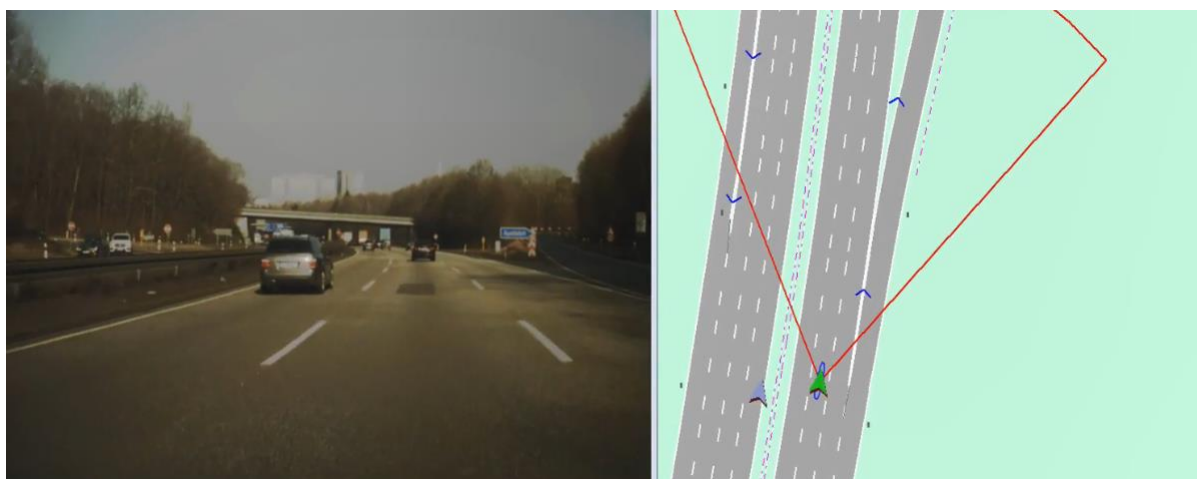


Abbildung 50: Beispielhafte Visualisierung der Landmarken-gestützten Fahrzeuglokalisierung. Die reine GPS-Position ist in Blau, die Landmarken-gestützte GPS-Position ist in Grün dargestellt.

### 3.2.3 UAP 2.3 Statisches fusioniertes Umfeldmodell

Im UAP 2.3 wurde ein partnerübergreifendes Konzeptpapier und partnerindividuelle Lösungen für das statische fusionierte Umfeldmodell erarbeitet. Zur Abschlusspräsentation wurde die Funktionsfähigkeit des partnerübergreifend erarbeiteten Konzepts und der partnerindividuellen Implementierungen erfolgreich gezeigt. Mittels der statischen Umfeldfusion wurden dabei partnerübergreifend Wahrnehmungs- und Kartenfehler kompensiert und die Vorausschau der on-board Sensorik signifikant erhöht, was zu zusätzlicher Sicherheit und Komfort der hochautomatisierte Fahrfunktion geführt hat.



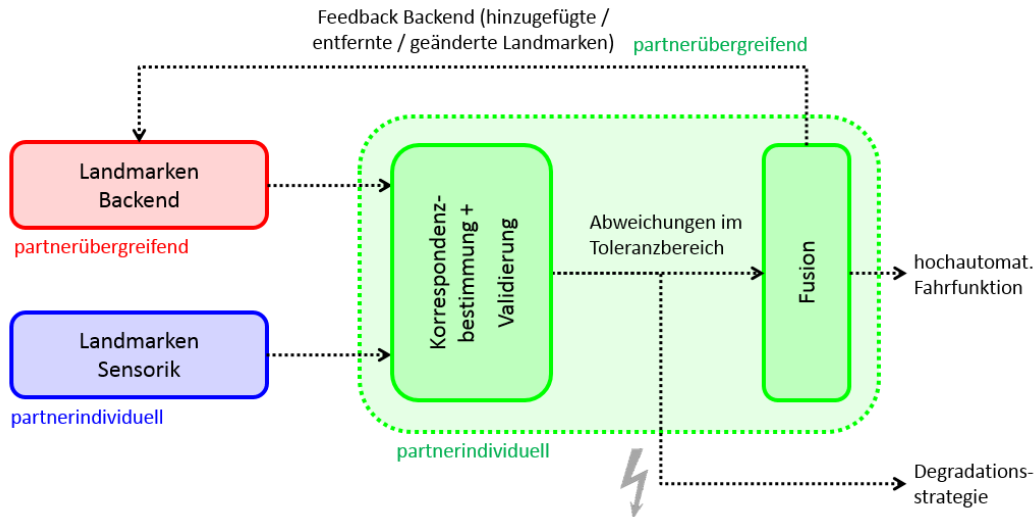


Abbildung 51: Übersicht über das partnerübergreifend abgestimmte statische Fusionskonzept von sensorischer Wahrnehmung und a priori Kartendaten.

In Abbildung 51 wird ein Überblick über die partnerindividuellen und partnerübergreifenden Anteile des statischen fusionierten Umfeldmodells, entsprechend dem erarbeiteten Konzeptpapier, gegeben. Eine Fusion kann nach partnerübergreifendem Verständnis nur erfolgen, sofern sich die Abweichungen zwischen sensorischer Wahrnehmung und digitaler Karte im Toleranzbereich der hochautomatisierten Fahrfunktion befinden. Somit erfolgt stets eine Bewertung der Karte vor der eigentlichen Fusion.

Im Rahmen des UAPs 2.3 wurde partnerübergreifend die Vielzahl der prinzipiell möglichen Kartenfehler gesammelt. Die gesammelten Kartenfehler wurden partnerübergreifend geclustert und priorisiert (siehe Abbildung 52). Hierbei hat sich aus der Perspektive der hochautomatisierten Fahrfunktionen herauskristallisiert, dass folgende Kartenfehler von den Partnern als besonders relevant eingeschätzt werden:

Positionsfehler:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehler der Landmarkengeometrien (Prio. 1)</li> <li>• Inkonsistenter Offset der Landmarkengeometrien (Prio. 1)</li> </ul>
Topologiefehler:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlerhafte Straßen-Topologie (Prio. 1)</li> </ul>
Existenzfehler:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• False positive / false negative Landmarken (Prio. 2)</li> </ul>
Attributfehler:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inkorrekte Landmarken-Attribute (Prio. 2)</li> </ul>

Beispielhaft identifizierte Kartenfehler werden in der Abbildung 54 gezeigt. Hierbei handelt es sich um einen Existenzfehler eines real existierenden aber in der Karte nicht verzeichneten Leitpfostens (Existenzfehler vom Typ false negative), einer fälschlicher Weise als Centerline attribuierten Spurmarkierung (Attributfehler), eine versetzte Fahrstreifenmarkierung (Positionsfehler) und eine fehlende Fahrstreifentopologie bei einer Ausfahrt (Topologiefehler).

Abweichungen zwischen sensorischer Perzeption und digitaler Karte können dabei gewichtet nach ihrer Schwere und Klasse in Form einer Wirkketten-spezifischen und damit partnerindividuellen Karten-Validitäts-Funktion ausgedrückt werden. Ein Beispiel für eine solche Funktion wird in Abbildung 53 gezeigt. Die statische Umfeldfusion mit digitaler Karte würde dabei nur durchgeführt werden, sofern die Karten-Validitäts-Funktion einen bestimmten Schwellwert nicht unterschreitet. Zusammenfassend kann für die im Rahmen von Ko-HAF genutzten Kartendaten gesagt werden, dass zwar Beispiele für alle Typen von Fehlern gefunden werden konnten, diese aber insgesamt mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit auftreten und somit die eingesetzten Kartendaten von einer hohen Güte sind.

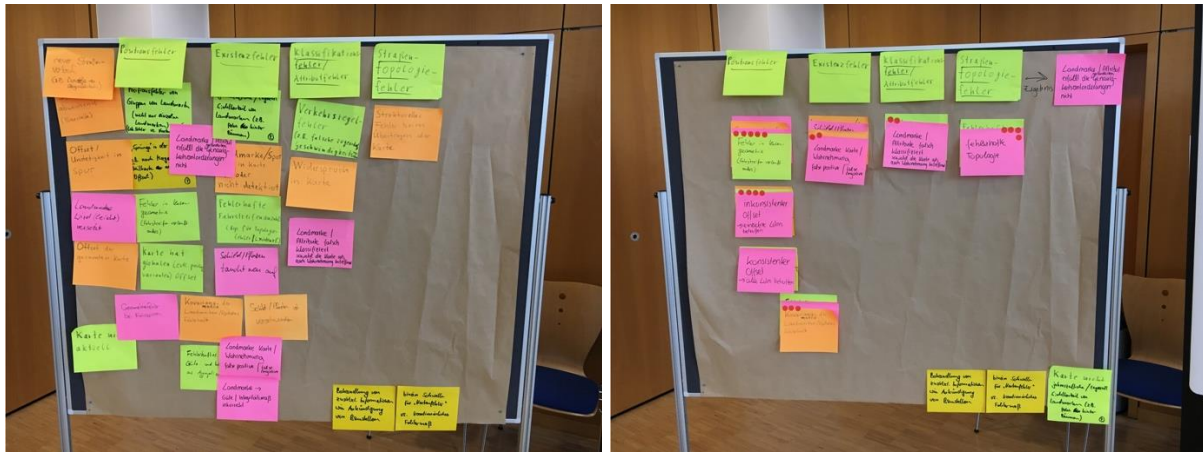


Abbildung 52: Partnerübergreifende Sammlung möglicher Kartenfehler (linkes Bild). Partnerübergreifendes Clustering und Priorisierung, der für hochautomatisierte Fahrfunktionen relevanten Kartenfehler.

Viele der partnerindividuellen Lösungen versuchen dabei, das Lokalisierungs- und Fusionsproblem simultan zu lösen. Aus diesem Grund sollen die im vorherigen Absatz beschriebenen Ansätze nicht erneut wiederholt werden. Stattdessen werden, stellvertretend für alle Partner, zwei statische Umfeldfusionen gezeigt (Abbildung 55, Audi und Abbildung 56, Continental), die verschiedene algorithmische Ansätze, nämlich Bündeloptimierung und Inferenz, verfolgen.

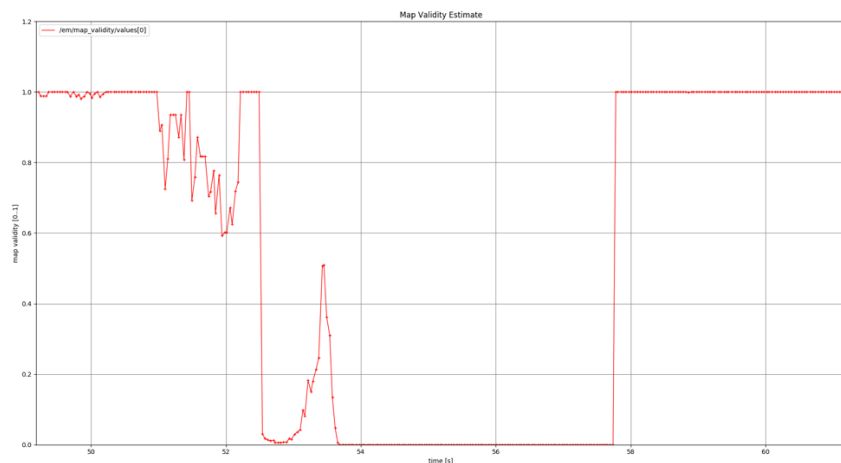


Abbildung 53: Beispielhafte partnerindividuelle Karten-Validitäts-Funktion (BMW), die die Übereinstimmung zwischen sensorischer Perzeption und digitaler Karte widerspiegelt.

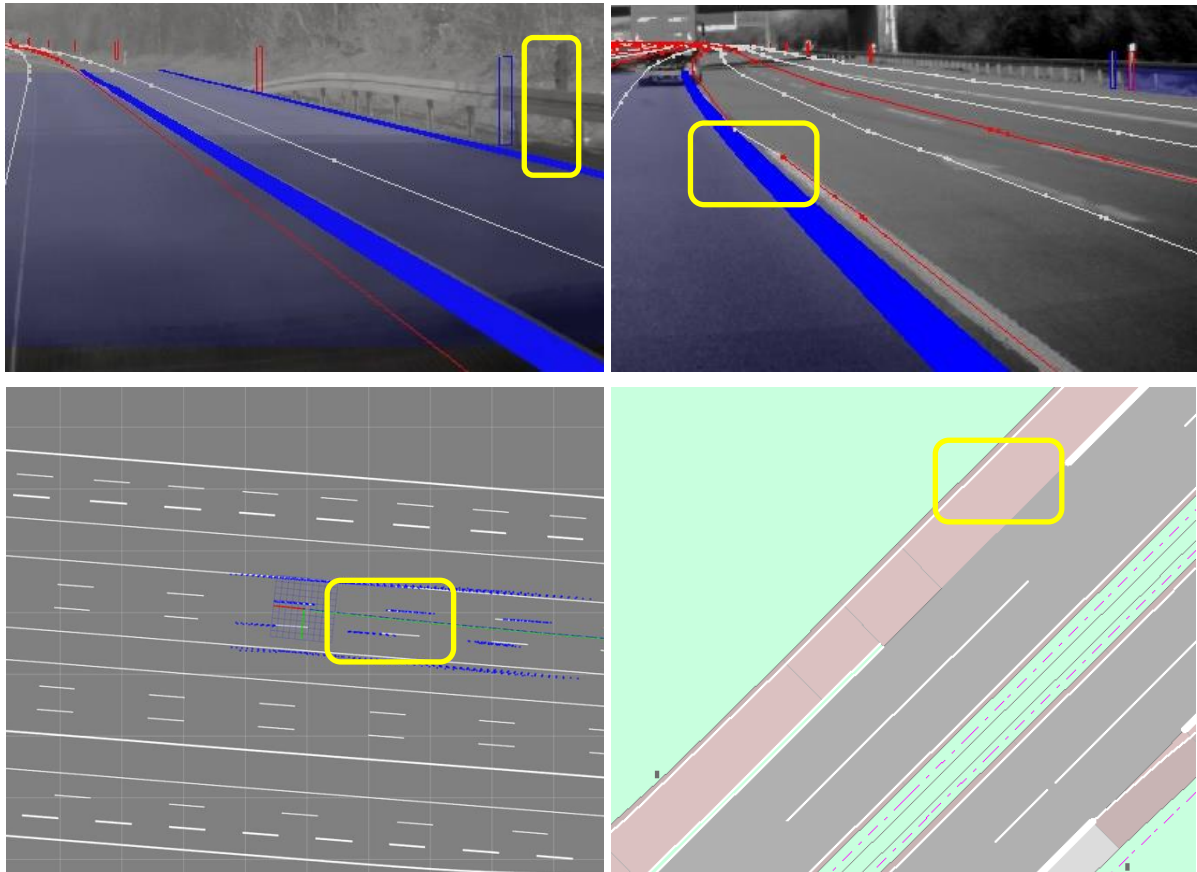


Abbildung 54: Beispielhaft identifizierte Kartenfehler. Fehlender Leitpfosten (linkes Bild oben). Inkorrekt attribuierte Fahrstreifenmarkierungen (rechtes Bild oben). Versetzte Fahrstreifenmarkierungen (linkes Bild unten). Fehlende Fahrstreifentopologie im Bereich der Ausfahrt (rechtes Bild unten).

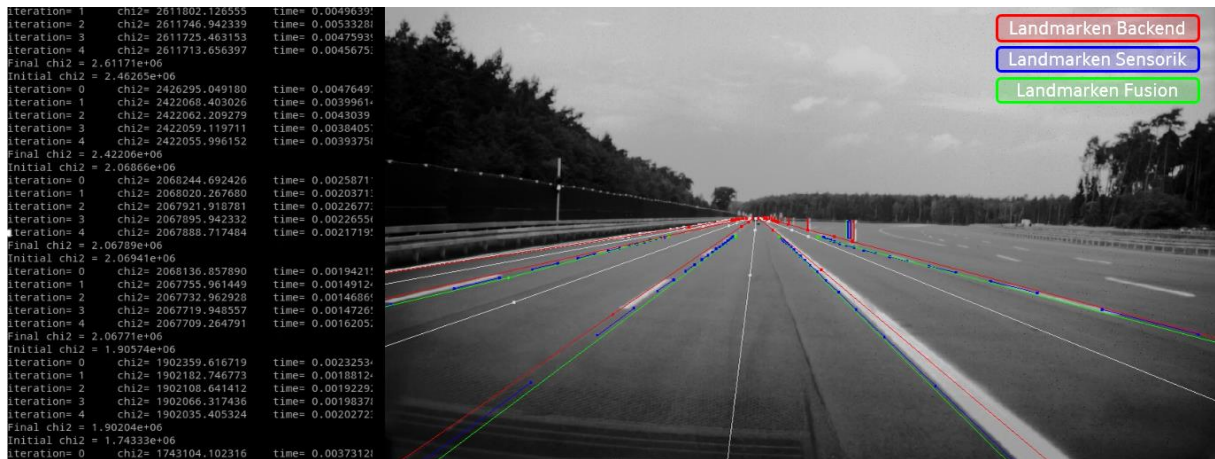


Abbildung 55: Beispiel von der Langen Geraden in Dudenhofen für die Fusion (grün) von statischen punkt- und linienförmigen Merkmalen aus der on-board Wahrnehmung (blau) und der digitalen Karte (rot) mittels Bündel-Optimierung. Links vom Videobild sind exemplarisch die Ausgaben des eingesetzten Bündeloptimierungsverfahrens abgebildet (Audi).

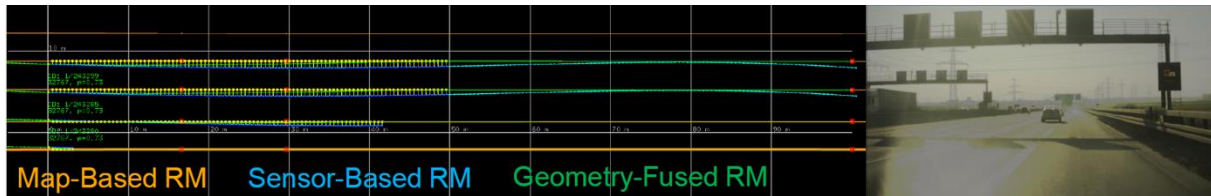


Abbildung 56: Beispiel eines Autobahnabschnitts bei Frankfurt für die Fusion (grün) von statischen Linienförmigen Merkmalen aus der on-board Wahrnehmung (blau) und der digitalen Karte (orange) mittels Inferenz (Continental).

### 3.3 AP3 Kooperative Fahrzeugführung und kontrollierbare Automation

Die nachfolgenden Ergebnisse des AP3 sind zur besseren Übersichtlichkeit nach den vier Unterarbeitspaketen aufgeteilt. Zentrale Aspekte der Ergebnisse sind neben den Spezifikationen von Szenarien, fahrfremden Tätigkeiten, Metriken und einem generischen HMI-Ansatz in erster Linie die empirischen Arbeiten der Partner. Diese werden in den Unterarbeitspaketen UAP3.2. und UAP3.3. mithilfe von Studiensteckbriefen vorgestellt, sodass einzelne Ergebnisse detailliert nachvollzogen werden können.

Der Anspruch des Konsortiums war allerdings auch eine gemeinsame Ergebniszusammenfassung, getragen von allen Partnern, die die große Menge an Arbeit im Projekt kondensiert auf zentrale Aussagen zusammenfassen. Vor der Abschlusspräsentation wurde daher im AP3 ein sehr großer Zeit- und Arbeitsaufwand betrieben, um sogenannte „Key Messages“ – die zentralen Ergebnisse des AP3 – zu erarbeiten. Diese finden sich direkt zu Beginn dieses Kapitels und stellen die Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse des AP3 dar. Für weiterführende Details wird auf die folgenden Kapitel verwiesen, die die Basis dieser Kernaussagen darstellen und die Arbeit des AP3 im Detail wiedergeben. Einzelne Key Messages können offensichtlich den einzelnen Unterarbeitspaketen zugeordnet werden, andere spiegeln den Erfahrungsschatz der Partner im Konsortium und deren Empfehlungen wider. Es erfolgt daher keine explizite Zuordnung einzelner Key Messages zu den Unterarbeitspaketen. Da die Key Messages wie alle Ergebnisse auf der Abschlusspräsentation in Englisch präsentiert wurden, werden Sie im Folgenden ebenfalls in Englisch dargestellt:

- The partners conducted a total of **33** empirical studies, with **1723** participants, in over **1750** hours resulting in **30** publications.
- Methodology
  - The developed systematics and metrics were evaluated on the basis of prototype conditionally automated driving systems and generic user-interface-designs.
  - In order to evaluate the influence of these parameters on take-over performance, we focused on average driver reactions. However, if the controllability of take-overs is to be assessed, a wider range of human performance needs to be considered as well.
  - We defined a common methodology and metrics to allow for a better comparison between the experiments and the results.
  - The experiments in driving simulators and Wizard-of-Oz-vehicles on unplanned, unexpected or time-critical take-over situations were conducted with time budgets between five and ten seconds.
- Drowsiness and Fatigue
  - During automated driving, drowsiness and fatigue can develop or be induced quickly and can be subject to volatile changes.
  - Drivers show strong inter- and intraindividual differences in the development of drowsiness and fatigue.

- An increase of drowsiness and fatigue under monotonous conditions could already be detected during shorter, uninterrupted automated drives (20 to 30 minutes). Under these conditions no significant influence on take-over time and quality could be detected. Also, in longer, uninterrupted automated drives (up to 90 minutes) clear and consistent effects on take-over behavior could not be found.
- Recommendations (Drowsiness and Fatigue)
  - While driving with conditional automation, extreme levels of drowsiness and fatigue (drivers close to falling asleep) must be avoided.
  - Based on the detection of high levels of drowsiness and fatigue, countermeasures (e.g. a specific offer of NDRTs) can be initiated to avoid or to postpone such extreme driver states. This can help to increase the safety and acceptance of such system.
- Non-driving related tasks (NDRTs)
  - According to our experiments, the following attributes of NDRTs can increase the take-over time compared to not pursuing NDRTs:
    - Holding an object (e.g. a mobile device) in one/both hands
    - Manual interaction (one/both hands) with mobile electronic devices
    - Unusually strong rotations (>90°) of the torso
    - Increased effort or multiple steps needed to fully disengage from a NDRT
  - The following attributes of NDRTs show no consistent effects:
    - Visual or visual-motoric tasks (e.g. watching video, reading, texting) without occupation of one/both hands
    - Cognitively demanding NDRTs affecting the cognitive transition
    - Generally, strong interindividual differences were found concerning how NDRTs influence the driver state
- Human-machine interface
  - For planned requests to intervene (Rtl), multi-stage HMI-concepts have been shown effects of accelerating the disengagement from NDRTs and by this on take-over time.
  - A preview of planned requests to intervene along the route (based on safety server information) helps drivers to self-regulate their engagement in NDRTs.
  - A „NDRT lockout” simultaneously with the request to intervene can speed up the driver response to the request. A „lockout” was implemented as a system-initiated interruption of the NDRT performed on the vehicle-integrated infotainment system or on connected portable devices with an additional presentation of the Rtl on the respective screen.
- Recommendations (NDRTs and HMI)
  - Natural behavior, self-regulation and motivational aspects of NDRTs must be considered in the experimental design.
  - A safety assessment of NDRTs with respect to their effects on take-over performance can only be carried out taking into account the details/parameters/aspects of the test scenario (e.g. the available time-budget).
  - The request to intervene (Rtl) should be designed to be multi-modal and needs to unequivocally convey the necessity for taking over vehicle control.

### **3.3.1 UAP3.1 Spezifikation der Prüfscenarien und Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion**

Das UAP 3.1 beinhaltet die Sammlung, Definition und Systematisierung grundlegender methodischer Aspekte und wichtiger inhaltlicher Konstrukte als Grundlage für ein gemeinsames Verständnis im Arbeitspaket und die Vergleichbarkeit der inhaltlichen Arbeiten der folgenden



Arbeitspakete. Z.T. wurden daraus neue methodische Ansätze entwickelt (z.B. TOC-Rating) bzw. existierende Methoden für den Einsatz zur Untersuchung hochautomatisierter Systeme weiterentwickelt (z.B. Wizard-of-Oz-Ansatz).

### 3.3.1.1 Systematik von Nutzungs- und Fahrscenarien (T3.1.1)

#### Zielsetzung

Ziel des Teilarbeitspakets T3.1.1 war die Sammlung und Systematisierung von Nutzungs- und Fahrscenarien hochautomatisierter Fahrzeugführung. Die Analyse und Sammlung der Nutzungs- und Fahrscenarien erfolgte dabei aus dem AP3-Blickwinkel heraus und beschäftigte sich v.a. mit der Rolle des Fahrers in Übernahmeszenarien. Ziel war es, ein abgestimmtes projektübergreifendes Arbeiten an (HMI-)Konzepten und deren Bewertung anhand konkreter Testszenarien in AP3 zu ermöglichen. Dabei wurde eine enge Vernetzung mit AP4 und AP5 angestrebt. Die wesentlichen Arbeiten und Ergebnisse werden nachfolgend dargestellt.

#### Begriffsklärung

Das Thema Nutzungs- und Fahrscenarien wurde von Beginn an in engem Austausch mit den AP 4 und 5 diskutiert, in denen Use Cases und verschiedene Formen von Szenarien ebenfalls eine Rolle spielen. Dabei wurde schnell klar, dass es zwar Gemeinsamkeiten gibt, die verschiedenen AP jedoch einen stark unterschiedlichen inhaltlichen Fokus haben, der sich auch in Auswahl und Inhalt der Szenarien widerspiegelt. Im Folgenden sollen einige Begrifflichkeiten, wie sie im AP3 verstanden und verwendet werden, erläutert werden (vgl. Abbildung 57). Bei der Definition der Begriffe wurden existierende Nomenklaturen berücksichtigt, insgesamt stand jedoch im Vordergrund, die Begriffsdefinitionen möglichst einfach und zweckgebunden zu gestalten:

- Das übergeordnete Themenfeld HMI beinhaltet unterschiedliche Kategorien von **Systeminteraktionen** (z.B. Fahrerübernahme, Systemrückmeldungen im Umgang mit strategischen Situationen oder während der Normalfahrt), die aus AP3-Sicht relevant sind.
- **Generisches Szenario:** Generische Szenarien enthalten bereits die wesentlichen Bestandteile, allerdings in grober Form. Für das generische Szenario relevante Aspekte sind sowohl die statischen und dynamischen Rahmenbedingungen (z.B. gerade Strecke, dichter Verkehr) als auch Aspekte des Systemverhaltens (z.B. TOR, ...). (Beispiel: „Abfahren von der Autobahn → Fahrstreifenwechsel nicht möglich wegen zu dichtem Verkehr. TOR wird ausgegeben.“)
- **Testszenario:** Im Testszenario werden alle Komponenten des generischen Szenarios detailliert. Neben der Konkretisierung der Rahmenbedingungen und des Systemverhaltens kommen szenariospezifische Ausprägungen dazu. (Beispiel: Rechter Fahrstreifen, 100km/h, Fahrstreifenbreite 4,5m, Verkehrsdichte 20 Fahrzeuge / km; Relevante Metriken wären hier z.B. durchgeführter Fahrstreifenwechsel ohne Kollision, Rückführung Hände / Füße: min t(Hands-On & Füße auf Pedalerie & Taste/Schalter, Zeit bis der Fahrstreifenwechsel abgeschlossen ist,...)
- Die Beschreibung der Testszenarien ist ein Bestandteil der **Versuchsbeschreibung**<sup>7</sup>. Die Versuchsbeschreibung enthält darüber hinaus jedoch weitere für die Dokumentation des Versuchs relevante Informationen wie Stichprobenbeschreibung, Versuchsdesign, unabhängige Variablen (UVs) und abhängige Variablen (AVs), Beschreibung des Fahrerzustands usw.

---

<sup>7</sup> Das im AP durchgehend verwendete Template für die Versuchsbeschreibung wird im Folgenden für die im Rahmen des AP3 durchgeführten Studien verwendet.

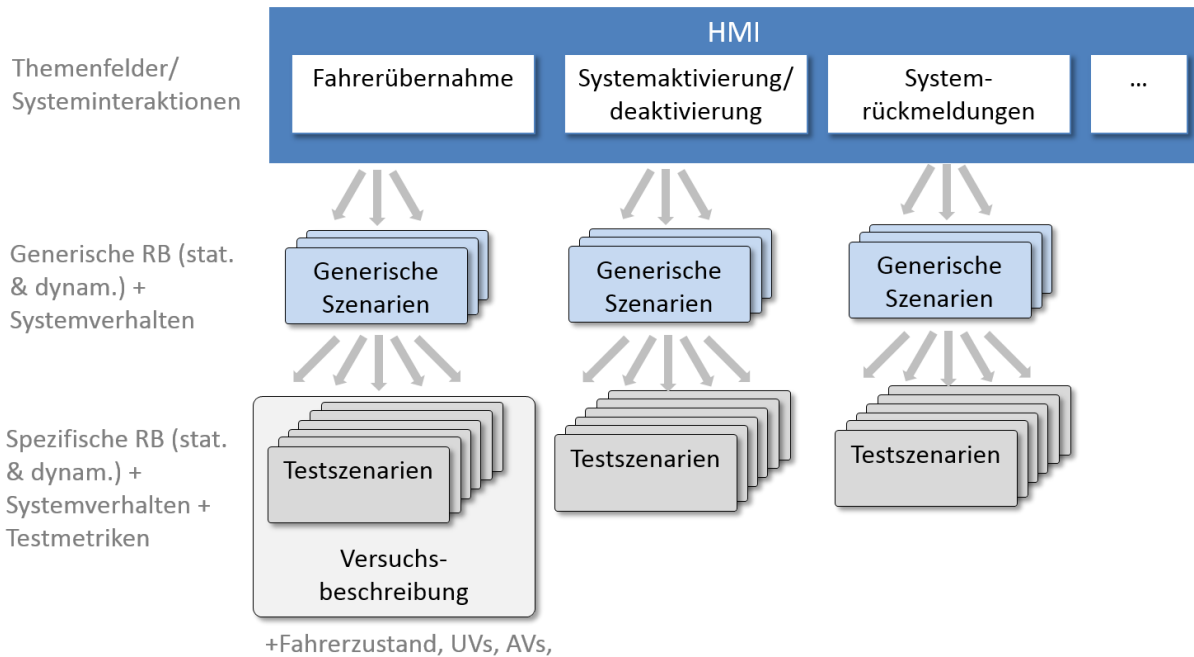


Abbildung 57: Begriffsdefinitionen in AP3.

### Sammlung, Bewertung und Systematisierung relevanter Übernahme-szenarien

Als Ausgangsbasis für die Erarbeitung und Ableitung relevanter Übernahme-szenarien diente eine vom AP4 erarbeitete Funktionsliste, in der die in Ko-HAF umzusetzenden Use Cases beschrieben werden. Der Fokus in diesem AP4-Dokument liegt auf den Funktionen bzw. Use Cases sowie dem korrespondierenden Systemverhalten. Systemgrenzen sowie Übernahme-szenarien kommen nicht vor. Im engen Austausch mit dem AP4 wurden daher basierend auf dieser Funktionsliste AP3-relevante Kriterien ergänzt und diskutiert. Hauptziele waren es dabei, (1) mögliche Übernahme-szenarien zu erarbeiten, (2) die Rolle des Fahrers zu definieren und (3) ein Verständnis für die zeitlichen Anforderungen der Szenarien zu entwickeln, um erste Informationen über das Systemverhalten in diesen Szenarien zu erhalten. Auf Basis dieses Inputs konnte eine Liste genereller Übernahme-szenarien abgeleitet werden.

Es wurden unterschiedliche Ansätze für eine Systematisierung der Übernahme-szenarien in Workshops diskutiert. Folgende Bewertungskriterien wurden schlussendlich als Schlüsselfaktoren identifiziert und der Bewertung der Szenarien zugrunde gelegt (vgl. Tabelle 2):

- Dringlichkeit der Übernahme
- Prädizierbarkeit der Übernahme
- Kritikalität der Übernahme
- Komplexität der Fahrerreaktion

Factors	Low (1)	Medium (2)	High (3)
Urgency	High time budget	Medium time budget	Small time budget
Predictability	Near-term detection of the system limit	Predictable, but occurrence dependent on situational conditions	Known from backend, map, V2V-communication
Criticality	Low safety risk	Increased safety risk	High safety risk
Driver Response	Low complexity (e.g. stabilizing)	Medium complexity (e.g. steering)	High complexity (e.g. lane change)

Tabelle 2: Klassifikation der Faktoren Dringlichkeit, Prädizierbarkeit, Kritikalität und Komplexität der Fahrerreaktion.

Die Liste der Übernahmeszenarien wurde daraufhin anhand der geschilderten Kriterien bewertet (vgl. Abbildung 58). Einige Szenarien können in der Übersicht nicht eindeutig bewertet werden, hier gibt es Abhängigkeiten von der konkreten Ausprägung der Situation (Beispiel: Befindet sich die Gefahrenstelle auf dem eigenen Fahrstreifen oder einem benachbarten Fahrstreifen?) bzw. z.T. auch mit Aspekten der Systemgestaltung (Beispiel: Wie weit reicht die HAF-Funktion im Übernahme-Szenario „Abfahren von der Autobahn: Übernahme wegen Autobahnende“: Muss der Fahrer noch auf dem Verzögerungsstreifen vor der Abfahrtsrampe übernehmen oder kann die Funktion auch auf der Abfahrtsrampe noch erhalten werden z.B. bis zur nächsten Kreuzung/Einmündung?).

No.	Name	Urgency	Predictability	Criticality	Driver Response
1	Sensor Failure (Subsystem)	1	1	1	1
2	Sensor Failure (Total)	3	1	2-3	1-2
3	End of Highway	1	3	1-2	1-2
4	Lane change to deceleration lane not possible (e.g. because of traffic on target lane)	2	2	1	3
5	Lane change from entrance ramp not possible	3	2	2	3
6	Road narrows (known from backend)	1	3	2	2
7	Road narrows (detected by on-board sensors)	3	1	2	2
8	Danger zone / obstacle ahead (known from backend)	1	3	1-3	1-3
9	Danger zone / obstacle ahead (detected by on-board sensors)	3	1	1-3	1-3
10	Loss of reference signals (e.g. lane markings missing)	3	1	2-3	1
11	Predictable loss of reference signals (known from backend)	1	3	2-3	1

Abbildung 58: Klassifikation der Übernahmeszenarien.

### Auswahl geeigneter Szenarien

Mit Hilfe dieser Klassifizierung können nun je nach Untersuchungsgegenstand geeignete Test-szenarien abgeleitet werden.



	Urgency	Predictability	Criticality	Driver Response
Human performance limits	High	Low	High	Medium-high
Time demand for unplanned transitions	Medium	Low	Low	Low-high
Driver comfort for planned transitions	Low	High	Low	Low

Abbildung 59: Empfehlung geeigneter Testszenarien in Abhängigkeit des Untersuchungsgegenstands.

Die erarbeiteten Szenarien stellten auch die Grundlage für die experimentelle Planung der empirischen Arbeiten in den Teilprojekten 3.2 (Untersuchung von Automationseffekten und Implementierung eines Moduls Fahrer Verfügbarkeit und Vigilanz) und 3.3 (Integration der Transitionskonzepte für HAF und deren Bewertung) dar. Für die Studien zum Thema „Fahrer Verfügbarkeit“ wurden beispielsweise Szenarien gewählt, die eine mittlere oder hohe Dringlichkeit beinhalten, eine gewisse Komplexität der Fahrreaktion erfordern und natürlich eine experimentelle Variation des Fahrerzustands im Vorfeld zulassen.

Die vorgestellte Systematik wurde in einem Paper veröffentlicht<sup>8</sup>. Des Weiteren werden die Ergebnisse im Rahmen der ISO 21959 Part 2 weiterverwendet.

### 3.3.1.2 Definition der Bewertung der Kontrollierbarkeit (Metriken) (T3.1.2)

#### Zielsetzung

Ziel des Teilarbeitspakets T3.1.2 war die Definition von notwendigen Metriken zur Prüfung und Messung von Kontrollierbarkeit. Diese Metriken wurden bei den Versuchen und Experimenten der Partner verwendet und erlauben einen partnerübergreifenden Vergleich der Ergebnisse. Nachdem diese Metriken als abhängige Variablen in den einzelnen Versuchen definiert werden, bilden sie die Grundlage der Empirie in AP3. Eng damit verknüpft ist die Frage geeigneter Methoden für die Bewertung der Kontrollierbarkeit.

#### Übernahmeprozess und Sammlung geeigneter Metriken

Zunächst galt es, sich innerhalb des Projekts auf ein gemeinsames Modell zu einigen, das chronologisch den Ablauf einer Übernahme für Fahrer und System beschreibt (vgl. Abbildung 60).

<sup>8</sup> Gold, Christian & Naujoks, Frederik & Radlmayr, Jonas & Bellem, Hanna & Jarosch, Oliver. (2017). Testing Scenarios for Human Factors Research in Level 3 Automated Vehicles. 551-559. 10.1007/978-3-319-60441-1\_54.

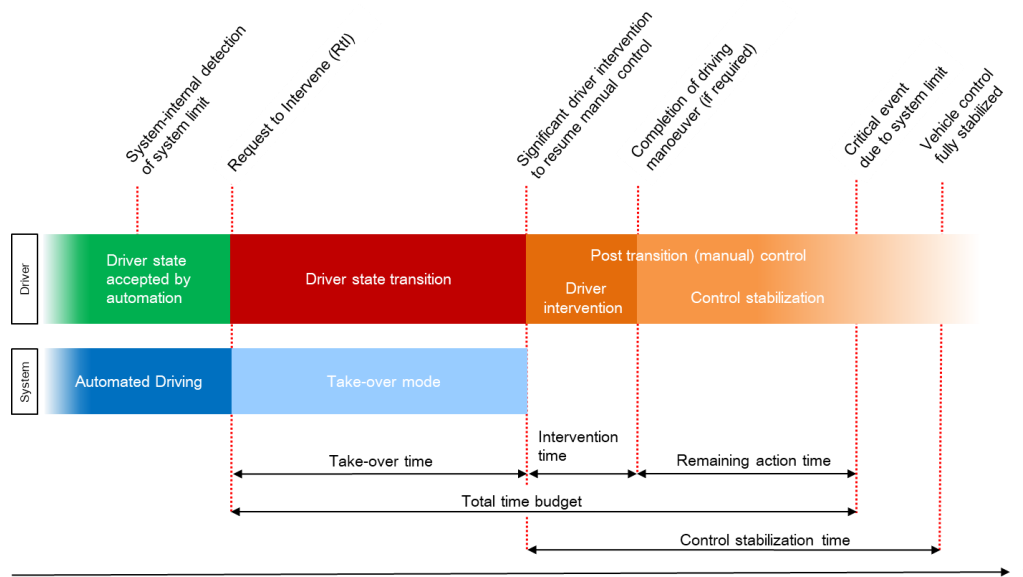


Abbildung 60: Modell des Übernahmeprozesses nach Marberger et al.<sup>9</sup>

In einem ersten Schritt wurde eine Vielzahl relevanter empirischer Vorarbeiten im Rahmen einer Literaturrecherche gesammelt und die verwendeten Metriken aufgelistet. Vor allem die Eignung der verwendeten Metriken zur differenzierten Beschreibung von Übernahmeleistung nach einer Übernahmeaufforderung und möglichen Metriken, die vor einer Übernahmeaufforderung den Fahrerzustand und dessen Änderung beschrieben, standen im Fokus der Recherche. In enger Abstimmung zu den Arbeiten für einen gemeinsamen Testszenarienkatalog (vgl. UAP3.1.1) wurden die gesammelten Metriken auf deren Eignung pro Szenario unterteilt. Mit der zunehmenden Kondensierung der Szenarien wurde zudem die Anzahl denkbarer Metriken pro Szenarien auf ein Maß reduziert, das sich auch im Simulator oder Realfahrzeug operationalisieren lässt.

Zudem wurden die gefundenen Metriken in einer Vorauswahl geclustert, um neben einer besseren Übersichtlichkeit auch potenzielle Alternativen pro Cluster anbieten zu können, sofern gewisse Metriken in ausgewählten Szenarien kaum Aussagekraft haben. Als Beispiel sei hier die Metrik „erster bewusster Eingriff“ des Fahrers genannt, die als Zeitspanne zwischen Übernahmeaufforderung und zum Beispiel bewusstem Eingriff in das Lenkgeschehen (Lenkradwinkel zum ersten Mal größer als 2°) oder bewusster Pedalbetätigung (Pedalwinkel zum ersten Mal größer als 10%) definiert wird. Sofern das Übernahmeszenario allerdings keinen Fahrstreifenwechsel oder ein Abbremsen des Fahrzeugs erfordert, sondern beispielsweise nur eine Stabilisierung des Fahrzeugs auf gerader Strecke, lässt sich diese Metrik nicht für einen Vergleich unterschiedlicher Fahrerreaktionen verwenden. Da die Metrik eine Reaktionszeit darstellt, lassen sich allerdings Alternativen aus dem Cluster „Zeit“ finden. Folgende Cluster wurden festgelegt:

- Zeit (Reaktionszeiten, Übernahmezeit)
- Qualität (TTC, Beschleunigung (long., lat.), Trajektorien)
- Fahrerverhalten, Informationsaufnahme (Spiegel-, Schulterblicke)
- Subjektive Daten (Trust, subjektive Kritikalität, Komplexität)

<sup>9</sup> Marberger, C., Mielenz, H., Naujoks, F., Radlmayr, J., Bengler, K., & Wandtner, B. (2017). Understanding and Applying the Concept of „Driver Availability“ in Automated Driving. In N. A. Stanton (Ed.), *Advances in Human Aspects of Transportation: Proceedings of the AHFE 2017 International Conference on Human Factors in Transportation*.

Der Vorschlag der Metriken auf Basis des entwickelten Szenarien-Katalogs zielt auf Übernahme-situationen und die Bewertung des Fahrerzustands vor einer Übernahme. Nachdem der Fahrer als Rückfallebene in Übernahme-situationen die Fahraufgabe übernehmen muss, bewerten die Metriken einerseits den Fahrerzustand bzw. die Verfügbarkeit der Fahrer für eine Übernahme vor dieser und die Dynamik der Übernahme-situation, also das Fahrerverhalten in der Übernahme.

Die szenarienbasierte Sammlung geeigneter Metriken soll an folgendem Beispielszenario verdeutlicht werden:

### Beispiel: Szenario 1 – Sensorausfall „Total/Komplett“

Das Szenario wird als Komplettausfall der Sensorik bzw. der Automation vor einer Kurve, allerdings noch auf einer Geraden, beschrieben. Der Radius fällt eher gering aus, soll aber zwischen den Partnern, die dieses Szenario verwenden, gleich gehalten werden.

Die Time to Lane Crossing (TLC) beträgt zum Zeitpunkt der Übernahmeaufforderung 5 Sekunden. Das Ego-Fahrzeug befindet sich auf dem linken Fahrstreifen vor einer Rechtskurve. Dies führt bei einer ausbleibenden Reaktion der Fahrer zu einem Verlassen der Fahrbahn.

#	Use Cases	Szenario #	Übernahmeszenario	Präzifizierbarkeit	Dringlichkeit der Übernahme	Kritikalität	Komplexität der Fahrerreaktion	Überwachungsaufforderung vorgesehen	Relevanz für Fahrerzustandsmodellierung	mind. Je 1 Vertreter aus 2 und 3, optional auch 1	Situation
1	Normalfahrt	1.1	Sensorausfall "Total": alles fällt aus	↓	↑	↑	→	nein	x	2	Sensorausfall vor einer Kurve

Abbildung 61: Bewertung des Szenarios in den Kategorien Präzifizierbarkeit, Dringlichkeit der Übernahme, Kritikalität und Komplexität der Fahrerreaktion.

Zusätzlich zur oben vorgestellten Clusterung der Metriken wird hier zudem ein allgemeines Pass/Fail-Kriterium verwendet, um eine Übernahme grundsätzlich als erfolgreich oder nicht erfolgreich bewerten zu können.

Die gelisteten Metriken sind farbig markiert, sofern eine starke Empfehlung zur Verwendung dieser Metrik ausgesprochen werden soll. Es handelt sich also um einen Vorschlag für einen Mindestumfang an Metriken, die pro Szenario die Übernahmeleistung beschreiben. Die weiteren Metriken sollen als Vorschlag für eine weitere Dokumentation des Versuchs dienen.

Wie oben aufgeführt, ist der umfassenden Dokumentation der Versuchsergebnisse hohe Wichtigkeit einzuräumen.

- Allgemeines Pass/Fail-Kriterium
  - Vorschlag: Durchfahrt der Kurve ohne Verlassen des eigenen Fahrstreifens
- Reaktionszeit Fahrer
  - Blickzuwendung Szenerie, Road Center Fixation
  - Rückführung Hände/Füße: min t(Hands-On & Füße auf Pedalerie & Taste/Schalter)
  - Zeit bis erster bewusster Eingriff, min t(Lenkradwinkel & Bremspedalwinkel & Taste/Schalter)
- Qualität des Eingriffs
  - Longitudinale, laterale Beschleunigung
  - Ableitung der Lenkbeschleunigung: Lenkruck
  - SD of
    - Lateral Position, Steering Wheel Angle, Yaw Rate Error (Efficiency of lateral Control)
    - Max. Lane Exceedance, Verlassen des Fahrstreifens
- Subjektive Daten
  - Einschätzung der Kritikalität

- Beanspruchung

## **TOC-Rating**

Das sogenannte Take-Over Controllability (TOC)-Rating ist eine im Rahmen des Projektes Ko-HAF von der BMW AG in Kooperation mit dem WIVW neu entwickelte Methode der Kontrollierbarkeitsbewertung, die die existierenden Metriken sinnvoll ergänzen soll. Das TOC-Rating stellt ein wissenschaftlich fundiertes Experten-Verfahren zur Bewertung der Kontrollierbarkeit von Übernahme-situationen in Probandenversuchen beim hochautomatisierten Fahren dar. Geschulte Rater schätzen dabei die Kontrollierbarkeit einer Situation anhand von Videomaterial der experimentellen Studie auf Basis eines Kriterienkatalogs ein und geben anschließend ein Gesamtrating der Kontrollierbarkeit ab.

Die Beurteilung der Kontrollierbarkeit von Übernahme-situationen durch geschulte Rater stellt einen komplexen Entscheidungsprozess dar. Unterschiedliche Verhaltensweisen wie die Güte der Längs- und Querführung, das Sicherungsverhalten (z.B. Spiegel-/Schulterblicke) oder das Einhalten von Sicherheitsabständen müssen einzeln beurteilt und zu einem Gesamt-Rating integriert werden. Um reliable und valide Ergebnisse zu erlangen, wurde das TOC-Rating in Anlehnung an bestehende Fahrbeobachtungs-Kataloge zur Beurteilung des manuellen und assistierten Fahrens konzipiert. Dies ermöglicht Vorteile subjektiver Bewertung bei gleichzeitiger Sicherstellung von Reliabilität und Validität. Insbesondere wird durch den Aufbau des Verfahrens der Entscheidungsprozess des Raters unterstützt und durch ein ausführliches, videogestütztes Training der Ablauf geschult. Prinzipiell werden die folgenden Bewertungskriterien unterschieden, anhand derer die Übernahmequalität eingeteilt werden kann:

- Nicht-kontrollierbare Ereignisse (z.B. Abkommen von der Fahrbahn)
- Gefährdungen (z.B. Beinahe-Unfall mit anderem Verkehrsteilnehmer)
- Fahrfehler (z.B. fehlendes Sichern): Eingeschränkte Übernahmequalität
- Ungenauigkeiten in der Fahrzeugführung (z.B. ungenaue Spurhaltung): Gute Übernahmequalität mit leichten Einschränkungen

Der Bewertungsbogen (vgl. Abbildung 62) beinhaltet alle relevanten Beobachtungs-Kategorien und unterteilt diese in Bereiche der Fahrzeugführung:

- Bremsung
- Längsregelung
- Querregelung
- Spurwechsel/-wahl
- Sichern / Kommunikation
- Fahrzeugbedienung
- Fahrerausdruck

	Fehlerfrei	Unsicherheit	Fehler	Gefährdung	Unkontrollierbar
<b>Bremnung</b>			<input type="checkbox"/> Zu stark <input type="checkbox"/> Zu schwach <input type="checkbox"/> Zu spät <input type="checkbox"/> Fehlend		
<b>Längsregelung</b>			<input type="checkbox"/> Sicherheitsabstand unterschritten <input type="checkbox"/> Geschwindigkeit unangepasst		
<b>Querregelung</b>		<input type="checkbox"/> Rückartiges Lenken <input type="checkbox"/> Ungenau	<input type="checkbox"/> Sicherheitsabstand unterschritten <input type="checkbox"/> Starke Schwankung <input type="checkbox"/> Spurübertretung	<input type="checkbox"/> Gefährdung anderer <input type="checkbox"/> Eigengefährdung	<input type="checkbox"/> Kollision <input type="checkbox"/> Fahrbahnabkommen <input type="checkbox"/> Kontrollverlust
<b>Spurwechsel/ -wahl</b>			<input type="checkbox"/> Zögerlich/ abgebrochen <input type="checkbox"/> Zu spät <input type="checkbox"/> Fehlend <input type="checkbox"/> Spur falsch		
<b>Sichern/ Kommunikation</b>		<input type="checkbox"/> Unnötig geblinkt/ falsche Richtung	<input type="checkbox"/> Fehlend/ verspätet geblinkt <input type="checkbox"/> Fehlend/ verspätet gesichert		
<b>Fahrzeugbedienung</b>		<input type="checkbox"/> Unsicherheit	<input type="checkbox"/> Probleme		
<b>Fahrerausdruck</b>		<input type="checkbox"/> Sichtbare Emotion			
	1	2 3	4 5 6	7 8 9	10

Abbildung 62: Bewertungsbogen für Übernahmesituationen beim TOC-Rating.

Der Aufbau des Bogens unterstützt durch die visuelle Gliederung der Rating-Bereiche den Entscheidungsprozess. Auf Basis der aufgetretenen Ereignisse geben die geschulten Rater ein integriertes Urteil der Kontrollierbarkeit der Situation von 1-10 ab. Ein Kommentarfeld ermöglicht zusätzlich die Ursachenbeschreibungen von besonderem Fahrverhalten.

Die Methode wurde den Projektpartnern in Form einer Schulung zugänglich gemacht. Um diese auch im wissenschaftlichen Umfeld zu festigen, wurde eine Homepage mit ausführlichen Informationen inkl. Schulungsmaterialien erstellt: <https://toc-rating.de>. Die Methode ist außerdem Gegenstand zweier Veröffentlichungen:

- Naujoks, F., Wiedemann, K., Schömig, N., Jarosch, O., & Gold, C. (2018). Expert-based controllability assessment of control transitions from automated to manual driving. *MethodsX*, 5, 579-592.
- Jarosch O., Bengler K. (2019) Rating of Take-Over Performance in Conditionally Automated Driving Using an Expert-Rating System. In: Stanton N. (eds) *Advances in Human Aspects of Transportation*. AHFE 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 786. Springer, Cham.

### 3.3.1.3 Definition der Anforderungen an generische Übernahmekonzepte (T3.1.3)

#### Zielsetzung und Vorgehen

Ziel des Teilarbeitspakets T3.1.3 ist die Sammlung und Zusammenführung der partnerspezifischen Anforderungen an generische Übernahmekonzepte.

Partnerübergreifend wurden zentrale Fragestellungen in AP3 in empirischen Studien im Simulator und / oder Realfahrzeug beantwortet. Im Fokus stand dabei neben der Entwicklung des Fahrerzustands während der hochautomatisierten Fahrt die Übernahme nach einer systemseitigen Übernahmeaufforderung als sicherheits- und komfortkritischer Aspekt des hochautomatisierten Fahrens. Mindestanforderungen an ein generisches HMI schaffen damit eine gewisse Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Studien der Partner. Zudem sollte in Ko-HAF auch eine Optimierung von HMI-Konzepten zur Verbesserung der Übernahmeleistung stattfinden. Generische HMI-Anforderungen schaffen hierfür die Basis und erlauben eine zielgerichtete Optimierung.

Das Vorgehen und die daraus entstandenen Ergebnisse waren wie folgt:

- Sammlung der partnerspezifischen generischen Anforderungen an Übernahmekonzepte aus bisherigen Studien bei den beteiligten Projektpartnern

- Konsolidierung und gemeinsame Festlegung von Mindestanforderungen
- Ausformulierung optionaler Anforderungen, vor allem in Hinblick auf eine Weiterentwicklung auf Basis von Empirie-Ergebnissen in Ko-HAF

### **Festlegung von HMI-Mindestanforderungen**

Es wurden Mindestanforderungen abgestimmt und festgelegt. Dabei stand neben einer praxistauglichen Umsetzung für alle Partner eine sinnvolle Reduzierung auf die wichtigsten Merkmale eines HMI, das die systeminitiierte Übernahme auslöst, im Vordergrund. Da die Transition von hochautomatisierter Fahrt zu manueller Fahrt vor allem eine Änderung des Automationslevels beinhaltet, wurde die Rückmeldung folgender Systemzustände der Automation festgelegt:

- System nicht verfügbar (optional, die Anzeige dieses Zustands ist ggf. nur bei „Aktivierungsversuchen“ sinnvoll und nicht dauerhaft notwendig)
- System verfügbar
- System aktiv
- Übernahmeaufforderung

Die Rückmeldung dieser Systemzustände soll Mode-Awareness Probleme mindern und einen notwendigen Eingriff des Fahrers in einer Übernahme klar kommunizieren.

Zudem wurde beschlossen, dringliche, zeitkritische und/oder kurzfristige Übernahmeaufforderung und sicherheitskritische Anzeigen für eine bessere Wahrnehmung multimodal auszuliefern. Neben einer visuellen Anzeige soll ein akustisches Signal oder eine Sprachausgabe z.B. die Übernahmeaufforderung verdeutlichen. Weitere Modalitäten, z.B. die Untermalung der Übernahmeaufforderung durch ein haptisches Signal im Sitz sind optional, werden aber für sicherheitskritische Modalitäten nicht ausgeschlossen.

Ein weiterer Teil der Mindestanforderungen betrifft den Anzeigeort von Systemzuständen oder Übernahmeaufforderungen. Mindestens im Kombi-Display oder im Head-Up Display sollen derartige Anzeigen visuell permanent dargestellt werden. Eine weitere Implementierung, z.B. auf ein Display das primär für fahrfremde Tätigkeiten in das Fahrzeug integriert wurde, wird ebenfalls nicht ausgeschlossen. Zudem haben auf den Hauptanzeigeflächen die Übernahmeaufforderung und sicherheitskritische Anzeigen Vorrang und werden vor anderen etwaigen Anzeigen priorisiert. Dies gilt auch für die akustischen Signale der Übernahmeaufforderung.

Darüber hinaus wurden für das empirische Vorgehen in AP3 explizit keine weiteren Mindestanforderungen festgelegt, um eine Differenzierung durch HMI Varianten zwischen Konsortialpartnern zu ermöglichen. Entscheidend für den Vergleich von Studienergebnissen und Versuchsmethodik ist damit eine lückenlose und saubere Dokumentation der Versuche.

### **Optionale Anforderungen und Integration von Transitionskonzepten in Ko-HAF**

Neben den beschriebenen Mindestanforderungen sind weitere Anzeigen bei Versuchen integrierbar. Beispielhaft sei hier die Anzeige weiterer Information in Übernahmesituationen genannt: Dies kann die Ankündigung von Fahrereignissen (Gefahrenstellen, die umfahren werden) und Manövern (Fahrstreifenwechsel am Autobahnkreuz beim Abfahren) beinhalten.

Weiterhin ist eine Detaillierung der Systemzustände, die das System durch Anzeigen oder Ausgaben umfassen kann, denkbar. Es kann beispielsweise eine Übernahmebereitschaftsaufforderung, die einer Aufforderung zur Überwachung ähnelt, ausgegeben werden, wenn eine weitere Abstufung zwischen aktivem System und Übernahmeaufforderung umgesetzt werden soll.

UAP 3.3 (Integration von Transitionskonzepten für HAF und deren Bewertung) umfasste die Ausgestaltung von HMIs und deren Bewertung in empirischen Versuchen. Die hier vorgestellten Mindestanforderungen dienten lediglich als Basis für eine Weiterentwicklung im Rahmen dieses Unterarbeitspakets.



### 3.3.1.4 Erstellung eines Katalogs fahrfremder Tätigkeiten (T3.1.4)

#### Zielsetzung und Vorgehen

Ziel des Teilarbeitspakets T3.1.4 war die Erstellung eines Katalogs fahrfremder Tätigkeiten (FFT). Dieser sollte einerseits die in bisherigen empirischen Arbeiten verwendete FFT systematisieren, andererseits eine zielgerichtete Auswahl fahrfremder Tätigkeiten für kommende empirische Untersuchungen ermöglichen.

Die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Literaturrecherche und -analyse werden nachfolgend dargestellt:

- Review bestehender phänomenologischer und anforderungsbezogener Kataloge fahrfremder Tätigkeiten.
- Erstellung eines Übernahmeprozessmodells unter Berücksichtigung zusätzlicher Anforderungen an den Fahrer bei Übernahme der manuellen Fahrzeugführung aus dem hochautomatisierten Fahren.
- Literaturrecherche und Systematisierung bestehender FFT aus 54 experimentellen Studien zum assistierten, teil- und hochautomatisierten Fahren und Einordnung in das Übernahmeprozessmodell.
- Abschließende Erstellung eines Katalogs fahrfremder Tätigkeiten, der die Generierung von Hypothesen hinsichtlich zu erwartender spezifischer Einschränkungen des Übernahmeprozesses durch unterschiedliche Aspekte fahrfremder Tätigkeiten zulässt.

#### Literaturanalyse

Bestehende Kataloge fahrfremder Tätigkeiten verfolgen grundsätzlich zwei unterschiedliche Ansätze:

- **Phänomenologische** Ansätze zielen vorwiegend auf die Kategorisierung und Erfassung der Prävalenz verschiedener FFT ab (bspw. durch Analyse von Polizeiberichten zu Unfällen), um eine post-hoc Abschätzung des mit unterschiedlichen FFT assoziierten Unfallrisikos zu ermöglichen (z.B. [1-3]). [4] sowie [5] stellten beispielsweise Aufgabekataloge vor, die FFT in insgesamt neun übergeordnete Kategorien unterteilen, wie etwa körperbezogene Tätigkeiten oder Bedienung fahrzeugzugehöriger Geräte. Im Vordergrund stehen hierbei Tätigkeiten, bei denen aufgrund von Beobachtungs- oder Befragungsstudien von einer praktisch relevanten Prävalenz ausgegangen werden kann.
- **Anforderungsbasierte** Ansätze verfolgen hingegen das Ziel, den mit unterschiedlichen FFT assoziierten Grad der Beanspruchung zu bestimmen und auf relevante Beanspruchungsdimensionen zurückzuführen. So untersuchten beispielsweise [6] Unfälle und Beinahe-Unfälle der sog. 100-Car Naturalistic Driving Study und fassten unterschiedliche FFT in Beanspruchungsstufen zusammen (Einfach: Eine Blickzuwendung / Bedienschritt; Moderat: Ein bis drei Blickzuwendungen / Bedienschritte; Komplex: Mehr als drei Blickzuwendungen / Bedienschritte). Zusammen mit anderen NDS-Studien [7] führten diese Erkenntnisse zur Formulierung der Richtlinien der amerikanischen Straßenverkehrsbehörde für die Benutzung elektronischer Geräte mit visuell-manueller Bedienung im Fahrzeug [8], welche visuelle Beanspruchung als zentrales Kriterium für die Vereinbarkeit mit der manuellen Fahrzeugführung ansehen. Für das teilautomatisierte Fahren stellten [9] einen Tätigkeitskatalog vor, welcher Einschränkungen in der Fähigkeit zur Reaktion auf Systemgrenzen und -fehler auf die folgenden Dimensionen zurückführt: (1) Primäre Modalität der Aufgabe (visuell vs. auditiv), (2) Interaktion (aktiv, d.h. vom Fahrer gesteuert vs. passiv, d.h. durch die Aufgabe gesteuert), (3) Unterbrechbarkeit (gut vs. schlecht) und (4) Informationskodierung (verbal vs. räumlich).

Die angenommenen Grade der Einschränkung der Übernahmefähigkeit ergeben sich in diesem Modell aus der Nähe zur Fahraufgabe, die als visuelle (primäre Modalität), aktive (Interaktion) und schlecht unterbrechbare (Unterbrechbarkeit) Aufgabe mit räumlicher Informationskodierung (Informationskodierung) gesehen wird. In Übereinstimmung mit dem multiplen Ressourcenmodell [10] wird davon ausgegangen, dass die manuelle Übernahme der

Fahrzeugführung insbesondere dann erschwert ist, wenn gleiche Ressourcen durch FFT und Fahraufgabe beansprucht werden. Der in diesem Teilarbeitspaket entworfene Katalog nimmt die vorgestellten Arbeiten zur Grundlage und überträgt diese auf das hochautomatisierte Fahren.

Bestehende Tätigkeitskataloge gehen bislang von einem sog. dual-task-Paradigma aus. Während der Bearbeitung der jeweiligen Tätigkeit ist der Fahrer stets in der Verantwortung, die Verkehrssituation zu überwachen und im Fall von Systemfehlern oder -grenzen kontrollierend einzugreifen. Im Gegensatz dazu erlaubt hochautomatisiertes Fahren die permanente Abwendung von der Fahraufgabe. An Systemgrenzen ist folglich vom Fahrer ein Aufgabenwechsel von der FFT hin zur manuellen Fahrzeugführung notwendig (sog. task-switching-Paradigma). Dieser Paradigmenwechsel macht wesentliche Erweiterungen des Tätigkeitskatalogs erforderlich. Während der hochautomatisierten Fahrt wird voraussichtlich eine Vielfalt an komplexeren Nebentätigkeiten möglich, deren Ausführung während der Fahrt mit niedrigeren Automationsstufen nicht vereinbar ist. So stellt beispielsweise die Verwendung der zu Verfügung stehenden Fahrzeit für Erledigungen wie das Verfassen von E-Mails oder das Nutzen von Unterhaltungsprogrammen einen Anreiz zur Nutzung hochautomatisierter Fahrfunktionen dar. Aus diesem Grund wird eine Erweiterung des Tätigkeitskatalogs auf solche natürlichen FFT angestrebt. In den Katalog sollen damit auch bislang weniger betrachtete Aspekte wie das Unterbrechen oder Beenden von FFT Eingang finden. Durch die Entbindung von der Fahraufgabe ist allerdings ebenso denkbar, dass das hochautomatisierte Fahren einen Zustand passiver Müdigkeit [11] fördert, der vor allem durch die Abwesenheit aktivierender Tätigkeiten bzw. das Ausführen unterfordernder Tätigkeiten bedingt ist. Im folgenden Abschnitt wird zunächst ein Rahmenmodell zur Beschreibung des Übernahmeprozesses dargestellt. Relevante Dimensionen von FFT werden in Anlehnung an das Vorgehen von [9] identifiziert und erweitert.

### **Anforderungen an den Tätigkeitskatalog und Übernahmeprozessmodell**

Abbildung 63 stellt ein Modell des Übernahmeprozesses aus dem hochautomatisierten Fahren hin zum manuellen Fahren dar. Es wird davon ausgegangen, dass sich der Übernahmeprozess prinzipiell in unterschiedliche Phasen unterteilen lässt, die jeweils mit spezifischen Anforderungen an den Fahrer einhergehen: (1) Hochautomatisierte Fahrt („HAF engaged“), (2) Annäherung an Systemgrenze („HAF degraded“), (3) Übernahme der manuellen Fahrzeugführung („HAF disengagement“) und (4) manuelle Fahrt („manual drive“). Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass die folgenden phasen-spezifischen Anforderungen an den Fahrer für eine erfolgreiche Übernahme erfüllt sein müssen:

- Grundsätzliche Verfügbarkeit (z.B. Wachzustand) während der hochautomatisierten Fahrt („HAF engaged“): Sowohl eine Unterforderung (passive Müdigkeit) als auch eine Überbeanspruchung (aktive Müdigkeit [11]) können sich negativ auf die Verfügbarkeit des Fahrers zu Übernahme der manuellen Fahrzeugführung auswirken. Demnach sind für empirische Untersuchungen solche Tätigkeiten zu identifizieren, die mittel- oder langfristig zu einer Fehlbeanspruchung des Fahrers führen können.
- Bemerkung der Notwendigkeit zur Übernahme der manuellen Fahrzeugführung und Herstellung der Übernahmebereitschaft, sobald Übernahmeaufforderung ausgegeben wird („HAF degraded“): In diese Phase des Übernahmeprozesses fallen vorwiegend solche FFT, die mit der Fähigkeit des Fahrers zur Wahrnehmung, Verarbeitung und Interpretation der Übernahmeaufforderung einhergehen, beispielsweise wenn FFT und Übernahmeaufforderung in derselben Modalität präsentiert werden oder falls durch die FFT eine Blickabwendung von den Anzeige-Elementen der HAF-Funktion erforderlich ist.
- Beendigung oder Unterbrechung der ausgeführten fahrfremden Tätigkeit und Kontaktaufnahme mit den Stellteilen („HAF disengagement“): Letztlich stellt die Beendigung mancher FFT – gerade im Kontext natürlicher FFT – vermutlich eine nicht zu vernachlässigende Anforderung an den Fahrer dar. Angesprochen sind an dieser Stelle Aufgabenteilaspekte wie beispielsweise notwendige Bedienschritte zum Beenden oder Pausieren elektronischer Geräte oder die Notwendigkeit zur Ablage von Gegenständen an fixen Positionen im Fahrzeug.

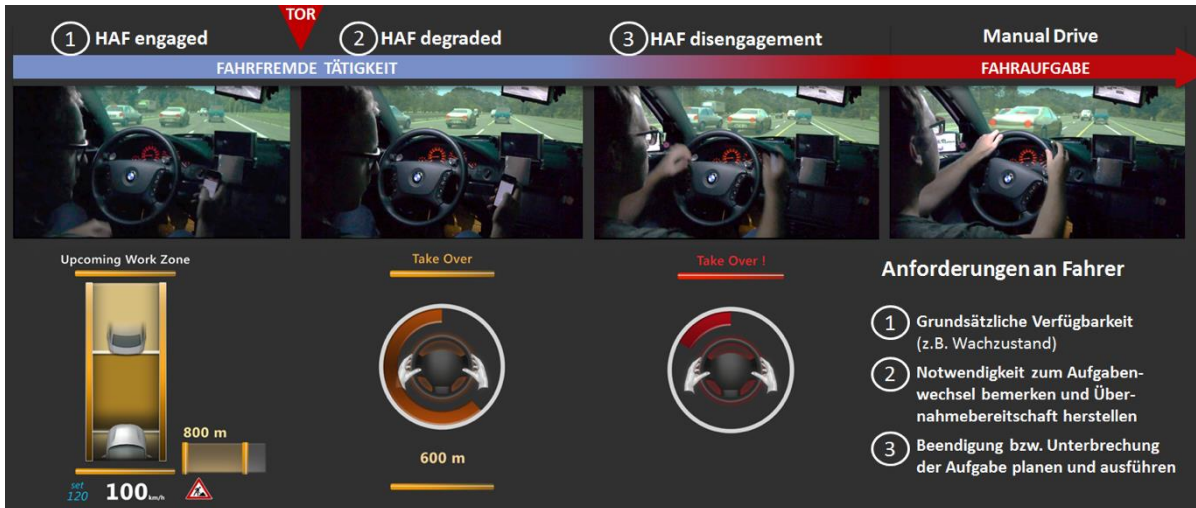


Abbildung 63: Übernahmeprozessmodell beim hochautomatisierten Fahren.

	HAF engaged	HAF degraded	HAF disengagement	Manual Drive	HAF engagement
	FAHRFREMDE TÄTIGKEIT			FAHRAUFGABE	FAHRFREMDE TÄTIGKEIT
ANFORDERUNG AN DEN FAHRER	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wachzustand</li> <li>Fahrtauglichkeit</li> <li>Systemverständnis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>TOR bemerken und verstehen: Aufgabenwechsel naht</li> <li>Übernahmebereitschaft herstellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausführung der Beendigung/Unterbrechung</li> <li>Übernahme manueller Fahrzeugführung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Fahraufgabe erfüllen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sich der Fahraufgabe abwenden</li> <li>Nebentätigkeiten wiederaufnehmen</li> </ul>
BEISPIEL	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fahrer liest/schreibt SMS in Kenntnis möglicher Systemgrenzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Akustisches Signal bemerken und als TOR interpretieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Smartphone/ Tablet weglegen</li> <li>Sicherungsblicke, Hände ans Lenkrad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ein Hindernis manuell umfahren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hände vom Lenkrad nehmen</li> <li>Smartphone/Tablet zur Hand nehmen</li> </ul>
RELEVANTE THEMEN / FRAGEN	<ul style="list-style-type: none"> <li>Über-/ Unterforderung</li> <li>Involviertheit</li> <li>Time-on-task</li> <li>Notwendigkeit zur Daueraufmerksamkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Primäre Modalität</li> <li>Informationskodierung</li> <li>Kognitive Beanspruchung</li> <li>Lokalität</li> <li>Möglichkeit zu Kontrollblicken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aufwand der Unterbrechung</li> <li>Aufwand der Beendigung</li> <li>Anreiz der Bearbeitung</li> <li>Interaktion</li> <li>Dauer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carry-over Effekte durch die fahrfremde Tätigkeit (Wechselkosten)</li> <li>Unterschiede zw. Fahraufgaben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carry-over Effekte durch die Fahraufgabe</li> </ul>

Abbildung 64: Übernahmeprozessmodell beim hochautomatisierten Fahren und Dimensionierung fahrfremder Tätigkeiten.

Basierend auf diesen Anforderungen wurden verschiedene Dimensionen fahrfremder Tätigkeiten definiert (z.B. Lokalität, Möglichkeit zu Kontrollblicken, Aufwand der Unterbrechung etc.), welche das Ausmaß der Einschränkung der Fahrer Verfügbarkeit zur manuellen Übernahme der Fahrzeugführung bedingen können. Abbildung 64 gibt eine Übersicht über diese Dimensionen sowie eine Zuordnung zu den angenommenen Phasen des Übernahmeprozesses. Weiterhin sind in der Tabelle beispielhaft Möglichkeiten aufgeführt, wie die einzelnen Dimensionen operationalisiert werden können, um die Ausprägung einer FFT auf der jeweiligen Dimension zu bestimmen<sup>10</sup>. Hierzu werden – soweit möglich – direkt messbare Eigenschaften der Tätigkeit (z.B. Dauer von Bedienschritten) sowie die Messung latenter psychologischer Konstrukte (z.B. Einschätzung der kognitiven Beanspruchung durch standardisierte Fragebögen) aufgeführt. Im nachfolgenden Kapitel wird schließlich eine Zuweisung von in empirischen Arbeiten bereits untersuchten FFT zu den vorgeschlagenen Dimensionen vorgenommen. Durch diese Zuordnung ist es einerseits möglich, FFT für empirische Untersuchungen

<sup>10</sup> An dieser Stelle wird zum Zweck der Operationalisierung der jeweiligen Dimension davon ausgegangen, dass die Tätigkeit isoliert ausgeführt wird. So könnte beispielsweise die Notwendigkeit zur Verarbeitung räumlicher Informationen durch die Interferenz mit einer anderen Tätigkeit gemessen werden, die ebenfalls eine räumliche Informationsverarbeitung erfordert.



Dimension	Beschreibung	Ausprägung (Beispiel)	Operationalisierung (Beispiele)	
			Fahrfremde Tätigkeit	Messinstrumente
<b>HAF engaged: Einschränkung der grundsätzlichen Fahrer Verfügbarkeit</b>				
<b>Über/Unterforderung</b>	Tätigkeit führt aufgrund von Monotonie / zu geringer Beanspruchung zu passiver Ermüdung [11], oder aufgrund einer zu starken Beanspruchung zu aktiver Ermüdung [11]	Hoch Mittel Gering	Häufigkeit und Intensität der Bearbeitung Struktur der Aufgabe: Monotonie	Erfassung der passiven und aktiven Müdigkeit Blickerfassung (z.B. Erfassung des Lidschlusses [12], Blickverteilung [13]), Physiologie (z.B. EEG [14]) Beobachtung [13; 15] Subjektive Maße (z.B. Karolinka Sleepiness Scale, KSS [16])
<b>Involviertheit</b>	Tätigkeit führt zu einem Flow-Erleben und eingeschränktem Aufmerksamkeitsfokus [17]	Hoch Mittel Gering		Erfassung des emotional-motivationalen Zustands Erfassung körperlicher Reaktionen (z.B. Facial Action Coding System, FACS [18]) Subjektive Maße (z.B. PANAS [19], Erfassung von Flow-Erleben [20])
<b>Notwendigkeit zur Daueraufmerksamkeit</b>	Tätigkeit schränkt Fähigkeit zur Aufrechterhaltung der Daueraufmerksamkeit / Vigilanz ein [21]	Hoch Mittel Gering	Struktur der Aufgabe: Seltenes Auftreten von Zielreizen bei gleichzeitiger Notwendigkeit zur Daueraufmerksamkeit	Vigilanz-Testbatterien (z.B. Sustained Attention to Response Task, SART [22], Psychomotor Vigilance Test, PVT [23]) Leistung in Zweitaufgabe (z.B. Vigilanz-Uhr [21]) Physiologische Korrelate [24]
<b>HAF degraded: Interferenz mit Wahrnehmung und Interpretation der Übernahmeaufforderung</b>				
<b>Primäre Modalität</b>	Grad der Beanspruchung des visuellen und auditiven Kanals bei Informationsaufnahme [9; 10]	Visuell Auditiv	Visuell: Anzeigenposition und Größe, Häufigkeit der dargebotenen Stimuli etc. Auditiv: Lautstärke und Häufigkeit der dargebotenen Stimuli	Verhaltensmessung: Erfassung der Wechselkosten durch Ausführung der Tätigkeit (Reaktionszeit-Latenz bei Reaktion auf andere Aufgabe [10; 25; 26]), Erfassung der Leistung in Zweitaufgabe (z.B. Peripheral Detection Task, PDT [25-27]) Subjektive Erfassung der visuellen und auditiven Beanspruchung (z.B. Driver activity load index, DALI) [28-30]
<b>Informationskodierung</b>	Notwendigkeit zur kognitiven Kodierung räumlicher Informationen bei Informationsverarbeitung [10]	Räumlich Verbal	Struktur der Aufgabe: Notwendigkeit zur Kodierung räumlicher Informationen	Verhaltensmessung: Leistung in Zweitaufgabe mit Notwendigkeit zur räumlichen Informationskodierung [10; 25; 26] Subjektive Erfassung der Beanspruchung des räumlichen Arbeitsgedächtnisses [28]
<b>Modalität Fahrer-output</b>	Modalität, in der Fahrer auf die fahrfremde Tätigkeit reagiert [10]	Verbal Motorisch	Verbal: Häufigkeit, Komplexität verbaler Reaktionen Motorisch: Eine / beide Hände für Interaktion notwendig, Häufigkeit und Komplexität motorischer Reaktionen	Verhaltensmessung: Erfassung der Wechselkosten durch Ausführung der Tätigkeit (Reaktionszeit-Latenz bei Reaktion auf andere Aufgabe [10; 25; 26]), Erfassung der Leistung in Zweitaufgabe [10; 25; 26] Subjektive Erfassung der verbalen/motorischen Beanspruchung [28]

Dimension	Beschreibung	Ausprägung (Beispiel)	Operationalisierung (Beispiele)	
			Fahrfremde Tätigkeit	Messinstrumente
<b>Kognitive Beanspruchung</b>	Grad der Beanspruchung der mentalen Verarbeitungskapazität [31-33]	Hoch Mittel Gering	Belastung des Arbeitsgedächtnisses (z.B. Merken von Inhalten, Ausführung mentaler Operationen etc.)	Blickerfassung (z.B. Einengung des Blickfelds [34], Verlängerung von Fixationszeiten [35]) Physiologie (z.B. Herzrate / Herzratenvariabilität [36; 37], EEG [36], Elektrodermale Aktivität [36]) Einschätzung der kognitiven Beanspruchung (z.B. Rating Scale of mental effort, RSME; NASA-TLX) [25; 26; 35; 38; 39]
<b>Lokalität</b>	Ort, an dem fahrfremde Tätigkeit ausgeführt wird [40-42]	Schoß Mitteltunnel Beifahrersitz Rücksitz	Distanz zum zentralen Blickfeld Distanz zu relevanten HMI-Elementen	Erfassung des Aufmerksamkeitsfokus bei Bearbeitung der Aufgabe [43; 44] Blickrichtung Kopfdrehung Körperdrehung
<b>Möglichkeit zu Kontrollblicken</b>	Möglichkeit der Blickabwendung ohne Aufgabe zu unterbrechen [45]	Hoch Mittel Gering	Struktur der Aufgabe: Grad der kontinuierlichen Informationsdarbietung ohne Möglichkeit zur Unterbrechung	Erfassung der Aufmerksamkeitsverteilung Verteilung der Länge von Einzelblicken zur Aufgabenerfüllung in Zweitaufgaben-Paradigma [46]
<b>HAF disengagement: Aufgabe beenden und Übernahmebereitschaft herstellen</b>				
<b>Aufwand der Unterbrechung</b>	Dauer um Aufgabe zu unterbrechen	Angabe in s	Notwendige Handlungs- / Bedienschritte bis Pausieren	Verhaltensmessung des Pausierens der Tätigkeit [47-49]
<b>Aufwand der Beendigung</b>	Dauer um Aufgabe zu beenden	Angabe in s	Notwendige Handlungs- / Bedienschritte bis Beendigung	Verhaltensmessung der Beendigung der Tätigkeit [47-49]
<b>Anreiz der Bearbeitung</b>	Grad der subjektiven Motivation zur Weiterbearbeitung der Tätigkeit [50]	Hoch Mittel Gering	Intrinsische (z.B. Interesse, Freude) und extrinsische Anreize zur Bearbeitung (z.B. monetäre Anreize, instrumenteller Wert der Tätigkeit)	Erfassung des emotional-motivationalen Zustands bei Bearbeitung (siehe oben) Bereitschaft zur Aufgabenausführung mit/ohne extrinsische Anreize [50; 51] Selbstauskunft über Grad der intrinsischen/extrinsischen Motivation [52; 53]
<b>Interaktion</b>	Wird Zeitpunkt notwendiger Interaktionen durch Aufgabe (machine-paced) oder Operateur (self-paced) bestimmt? [9]	Self-paced Machine-paced	Struktur der Aufgabe	
<b>Dauer</b>	Dauer einzelner Bedienschritte	Angabe in s	Dauer einzelner Bedienschritte	Verhaltensmessung [47-49]

Tabelle 3: Übersicht über Dimensionen von FFT und mögliche Operationalisierungen



<b>Fahrfremde Tätigkeit</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>nassis- tiert</b>	<b>nTAF</b>	<b>nHAF</b>
<b>Bedienung von IVIS</b>	Mit Informationssystem/ Infotainment im Fahrzeug interagieren	-	[54; 55]	[56]
<b>Komplett frei (Auswahl)</b>	Keine Vorgabe. Lesen, Schminken, DVD schauen etc. möglich	[57]	[57]	-
<b>Lesen: Zeitung, Smartphone</b>	Lesen von Text / Bildmaterial	[57; 58]	[57-61]	[62-65]
<b>Wetter App bedienen</b>	Wetter-Informationen in einem Menü auf Smartphone abrufen	[66]	[66]	-
<b>Zieleingabe in Navigationsgerät</b>	Ziele eingeben	[67]	-	-
<b>Quiz-Aufgabe</b>	Quiz-Aufgabe (ähnlich wie z.B. „Wer wird Millionär“) ausführen	-	[68]	[12; 62; 69]
<b>Text vorlesen</b>	Text von Tablet laut ablesen	[70]	-	[71]
<b>Gesprochenen Text anhören und Fragen beantworten</b>	Hören von Informationen über Restaurants an der Strecke und verbale Antwort auf Fragen zu den Informationen → pro Frage mussten drei Informationen über drei Restaurants wiedergegeben werden	[72]	-	-
<b>Komplexe Informationssuche</b>	Probanden sahen Liste mit Aktienkursen und dazugehörigen Unternehmen auf LCD-Bildschirm, Unternehmensname wurde genannt, entsprechender Aktienkurs musste gesucht und laut vorgelesen werden	[70]	-	-
<b>Essen</b>	Süßigkeiten auf Beifahrersitz essen	[58]	[59]	-
<b>Computerspiel</b>	Computerspiel (z.B. Punkt vor Kollision schützen)	-	-	[64; 73; 74]
<b>Musikhören</b>	Probanden konnten ein Webradio ihrer Wahl hören	-	-	[75]
<b>Telefonieren</b>	Gestelltes Telefonat, beispielsweise Anruf vom Versuchsleiter mit arithmetischen Fragen bzw. VL und Proband sprechen über ein reales Telefonat des Probanden in der Vergangenheit	[76]	-	[69]
<b>SMS schreiben / Wählen</b>	Keine Vorgabe; Probanden sollten Ihr Mobiltelefon dabei haben; Verhaltensbeobachtung während des Experiments	[58]	[58]	-
<b>Texteingabe, Internetsuche</b>	Keine Vorgabe [58] bzw. Texteingaben bzw. Internetrecherchen im CCP nach Anweisung [77]	[58]	[58]	[77]
<b>Film ansehen</b>	Beispielsweise Video-Streaming mit freier Auswahl, nach Belieben DVD ansehen, Vorgabe eines bestimmten Videos mit oder ohne anschließende Verständnisfragen	[57]	[57; 78]	[75; 79; 80]
<b>Aus dem Fenster lehnen</b>	Verhaltensbeobachtung im HAF	-	-	[81]
<b>Im Schneidersitz sitzen</b>	Verhaltensbeobachtung im HAF	-	-	[81]

Tabelle 4: Übersicht über natürliche fahrfremde Tätigkeiten.

Fahrfremde Tätigkeit	Beschreibung	Nassis- tiert	NTAF	NHAF
Trackingaufgabe	Zu verfolgendes Objekt (Punkt/Linie) in bestimmtem Toleranzbereich halten	[82]	[82]	[83]
SuRT (Surrogate Reference Task)	Visuelle Suchaufgabe	[84-86]	[87; 88]	[87; 89-94]
n-Back	Zahlenfolge muss im Gedächtnis gehalten werden: Abfolge aus Targets und Distraktoren, Target n Schritte zuvor muss erinnert und benannt werden	-	[88]	[94]
20-Questions-Task	20 ja/nein-Fragen, um ein Rätsel zu lösen	-	[95]	[96]
Zahlen Addieren	Darbietung von Zahlen auf Display, welche addiert werden sollen; Verbale Antwort	[97]	-	-
RSVP-Aufgabe	Rapid Serial Visual Presentation: Reagieren auf visuell präsentierte Targe- treize  1) Der Fahrer muss nach einem akustischen Signal einen Knopf drücken, woraufhin einzelne zufällige Zahlen auf einem Bildschirm angezeigt werden. Der Fahrer soll zählen, wie oft eine bestimmte Zahl vorkommt. Die einzelnen Zahlen werden mit einer Rate von 4 Hertz angezeigt.  2) Ein rotes Viereck taucht in zufälligen Intervallen zwischen 4-8 Sekunden an einer von 20 festgelegten Positionen auf. Das Viereck verschwindet sobald der Fahrer einen Knopf drückt oder wenn 3 Sekunden verstrichen sind.	[98]	[99]	-
Zählen von Targetreizen	Zählen von dargebotenen Zielreizen (z.B. Buchstaben) entweder aus Sequenz von Stimuli oder bei simultaner Darstellung (Suchaufgabe)	[82]	[82]	-
„Rotated Figures Task“	Probanden müssen angeben, ob zwei rotierte geometrische Figuren gleich oder ungleich sind (Wippen am Lenkrad dienen als Eingabe)	[100]	-	-
Positionsangabe	5 Ziffern erscheinen in einem Display in der Mittelkonsole; Von diesen Ziffern ist jeweils eine Ziffer keine 0; Mittels Tastendruck soll die Position der Nicht-Null angegeben werden	[101]	-	-
Lückentext („Cloze-Test“)	Ersetzen von fehlenden Wörtern in einem Text (Word File) am Laptop	-	[102]	[102]
Reaktion auf akustische Reize („Odd-ball“-Aufgabe)	Reagieren auf Target-Reiz (z.B. hoher Ton) in einer Folge von Nicht-Target-Reizen (z.B. tiefe Töne)	-	[103]	-

Tabelle 5: Übersicht über standardisierte fahrfremde Tätigkeiten.

### 3.3.2 UAP 3.2 Untersuchungen von Automationseffekten und Implementierung eines Moduls Fahrer Verfügbarkeit und Vigilanz

Die Arbeiten im UAP3.2. bestehen im Wesentlichen aus durchgeführten Studien der Konsortialpartner. Die Empirie zum Thema Automationseffekten gliedert sich im UAP3.2 in die zentralen Punkte „Müdigkeit“ und „fahrfremde Tätigkeiten“, wobei einige Studien beide Punkte beleuchten. Das Modul „Fahrer Verfügbarkeit und Vigilanz“ basiert auf den Ergebnissen der Studien und stellt im Wesentlichen einen Modellierungsversuch dar, häufig mithilfe von regressionsanalytischen Methoden, um Übernahmezeit- und -qualitätsaspekte auf Basis des aktuellen Fahrerzustands vorherzusagen. Die Ergebnisse hierzu finden sich am Ende des Kapitels.

Da im UAP3.2 der wesentliche Bestandteil der Arbeit und Ergebnisse auf den durchgeführten Studien basiert, werden diese nachfolgend, sofern vorhanden, mithilfe von Studiensteckbriefen vorgestellt. Auf eine Zusammenfassung der einzelnen Studien wird dahingehend verzichtet, dass die „Steckbriefe“ der Versuche gesammelt nicht erst im Anhang des Dokuments auftauchen, sondern hier einen detaillierten Überblick über die empirischen Arbeiten des UAP3.2. liefern, um die Zuordnung zum Arbeitspaket zu erleichtern. Die Studien sind zudem nach Konsortialpartner sortiert, um eine bessere Übersicht zu gewährleisten.

### 3.3.2.1 Übersicht der Studien im UAP3.2 zur Untersuchung von Automationseffekten aufgrund von Müdigkeit und/oder fahrfremden Tätigkeiten

#### 3.3.2.1.1 Audi Versuch 1

##### 3.3.2.1.1.1 Fotodokumentation



Abbildung 66: Versuchsfahrzeug: modifizierter A4 -Rechtslenker.

##### 3.3.2.1.1.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	August / September 2016
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände))	Realfahrzeug / öffentl. Gelände (A9)
Stichprobengröße:	N = 71
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	Mitarbeiter der AUDI AG Alter: MW = 31.90 SD = 8.08 Geschlecht: 66.2 % männlich / 33.8 % weiblich)
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.)	Rastplatz Köschinger Forst → Altmühltal → Manching → Ausfahrt Lenting
Beschreibung Übernahmeszenario:	/ (kein Übernahmeszenario)
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	/
Zeitbudget:	Versuchsfahrt ca. 40 Min.
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	simulierte pilotierte Fahrt Fahrer übernimmt während des gesamten Versuchs die Kontrolle
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	/
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	/
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	/
Methode zur HAF-Deaktivierung:	/
Systemverhalten nach TOR:	/

### 3.3.2.1.1.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Gibt es fahrfremde Tätigkeiten, die für eine Reaktivierung (niedrigeres Schläfrigkeitslevel) besser geeignet sind?
Unabhängige Variablen:	3x3 gemischtes Design Within-Faktor: Befragungszeitpunkt Between-Faktor: Fahrfremde Tätigkeit (Handytrim, Diktat, Entspannung)
Abhängige Variablen:	Karolinska-Sleepiness-Scale
Hauptergebnisse:	Reaktivierungseffekt Handytrim: $F(2, 42) = 22.91, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .522$ Diktat: $F(2, 42) = 16.34, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .438$
Fazit aus Studie	Mit Hilfe von fahrfremden Tätigkeiten ist es möglich, das Schläfrigkeitslevel während einer L3-Fahrt zu reduzieren. Die Tatsache, dass eine fahrfremde Tätigkeit (Handytrim oder Diktat) durchgeführt wurde, schien in diesem Fall relevanter als die Art der durchgeführten Tätigkeit.  Es ist möglich, durch einen gezielten Einsatz von fahrfremden Tätigkeiten die Dauer der L3-Fahrt zu verlängern.

### 3.3.2.1.2 Audi Versuch 2

#### 3.3.2.1.2.1 Fotodokumentation



Abbildung 67: Versuchsfahrzeug: modifizierter Q7-Rechtslenker.

### 3.3.2.1.2.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Februar / März 2017
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände))	Realfahrt, öffentliches Gelände (A9)
Stichprobengröße:	N = 31
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	Mitarbeiter der AUDI AG (männlich:19 / weiblich:12) Durchschnittliches Alter: 30,61 Jahre
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.)	Lenting → Kreuz Nürnberg-Ost → Lenting In der Regel: 3 Fahrstreifen + Pannestreifen
Beschreibung Übernahmeszenario:	Abstraktes Übernahmeszenario: Bremsleuchten auf dem rechten und mittleren LCD-Display (Stauende) → Probanden mussten nach rechts lenken, um die Situation zu entschärfen (Bremsleuchten 7s aktiv)
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	mittel
Zeitbudget:	7s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	simulierte pilotierte Fahrt Versuchsleiter übernimmt die Fahraufgabe während der gesamten Fahrt
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	<b>Eingewöhnung:</b> 2 Übernahmeaufforderungen (Ausweichen nach links und rechts) im Stand und auf dem Weg zur Autobahn  <b>Versuch:</b> In Abhängigkeit des Schläfrigkeitslevels wurden die weiteren Übernahmen getriggert. (Level 1 / Level 4 und Level 6). Im Versuch war immer ein Ausweichen nach links erforderlich.
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	individuell in Abh. des Schläfrigkeitslevel
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	akustisch und visuell (Q7 Hands-on Aufforderung) Anzeige über den Pilottaster (rot), das Tablet (bitte übernehmen) und über das Systemstatusdisplay auf dem Lenkrad (bitte übernehmen)
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Bremsen, Lenkimpuls oder Deaktivierung über Pilottaster
Systemverhalten nach TOR:	/

### 3.3.2.1.2.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	In welchem Ausmaß ist es möglich, Schläfrigkeit ohne Schlafdeprivation zu erzeugen? Zeitdauer oder Schläfrigkeitslevel als UV?
Variablen:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zeit bis zum Erreichen des Schläfrigkeitslevels 4 oder 6</li> <li>- Anzahl der Probanden, die diese Schläfrigkeitslevel erreichten</li> </ul>
Schläfrigkeitsmanipulation:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kein Kaffee 5h vor Versuchsbeginn</li> <li>- Entspannungsmusik während der Testfahrt</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Kommunikation mit den Versuchsleitern</li> <li>- Aufgabe der Probanden: Entspannung</li> </ul> <p>Wichtig: Die Augen sollten während des gesamten Versuchs nicht geschlossen werden. Einschlafen war nicht erlaubt.</p>
Hauptergebnisse:	63% der Probanden erreichten das Schläfrigkeitslevel 6 76,67% der Probanden erreichten das Schläfrigkeitslevel 4
Fazit aus Studie für	Sehr individuelle Schläfrigkeitsentwicklung → Eine Manipulation des Schläfrigkeitslevels scheint in diesem Kontext sinnvoller als eine Manipulation der Zeit.
Fragestellung 2:	Wie verändern sich verschiedene Übernahmespekte (Hands-on- und Lenkreaktionszeit) in Abhängigkeit des Schläfrigkeitslevels?
Unabhängige Variable:	Schläfrigkeitslevel der Probanden (Level 1 / Level 4 und Level 6)
Abhängige Variablen:	Übernahmezeiten: Lenkimpuls und Hands-On-Zeit
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reaktionszeiten werden geringfügig schneller</li> <li>- Beobachtung: z.T. schreckhafte Reaktionen bei höheren Schläfrigkeitsleveln</li> </ul>
Fazit aus Studie für Fragestellung 2:	Es konnte kein Schläfrigkeitseffekt festgestellt werden. → weiterer Untersuchungsbedarf (Qualitätsaspekte)



### 3.3.2.1.3 BAST Versuch 1

#### 3.3.2.1.3.1 Fotodokumentation



Abbildung 70: Oben: Wizard-of-Oz Fahrzeug auf monotoner Ovalbahn des Versuchsgeländes.  
Links: Im Bereich des Innenspiegels: Kamera zur Messung der Spurposition während der automatisierten Fahrt. Auf dem Dashboard: Kameras für Videoaufzeichnungen des Fahrers.  
Rechts: Proband im Fahrzeug während kontinuierlicher Überwachungstätigkeit mit EEG-Ableitung, in seiner Hand befindet sich ein Taster.

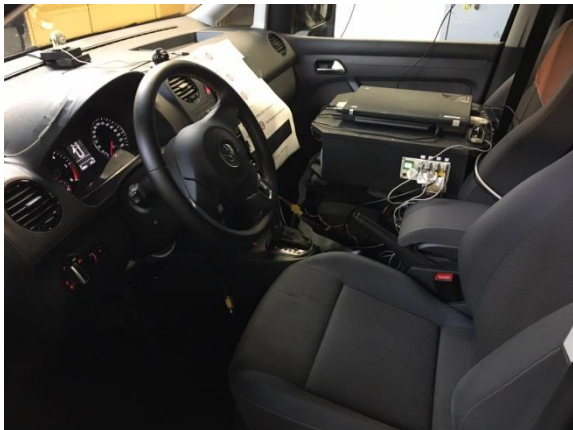


Abbildung 68: Probandenplatz.



Abbildung 69: Instruktionen für Probanden während der manuellen Baseline-Messung.



Abbildung 72: EEG-Messkoffer auf dem Beifahrersitz (Leihgabe der Daimler AG).

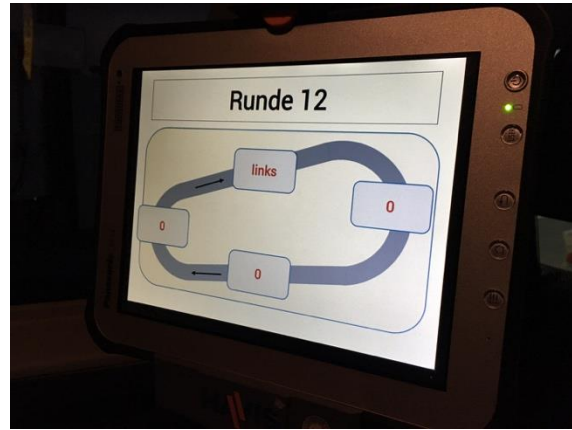


Abbildung 71: Anzeige der Art und Position von Automatisierungsfehlern in der jeweiligen Runde der Ovalbahn für den Wizard-Versuchsleiter.

### 3.3.2.1.3.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Oktober 2016 bis Januar 2017 und Dezember 2017
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände / öffentl. Gelände))	Wizard-of-Oz Fahrzeug (Wizard-Versuchsleiter im hinteren Fahrzeugbereich, mittig, für Proband verdeckt) auf Testgelände
Stichprobengröße:	35
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	16w, 19m, MW=36 Jahre (SD=15), im Mittel 13.900 km Fahrleistung im Jahr
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	Ovalbahn, ca. 2,1 km Länge, 3 Fahrstreifen. Fahrt auf mittlerem Fahrstreifen mit ca. 70 km/h, monoton, keine anderen Fahrzeuge vorhanden
Beschreibung Übernahmeszenario:	Keine Übernahme vorhanden, permanente automatisierte Fahrt mit Überwachungsnotwendigkeit der Längs- und Querführung.
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Keine Übernahme
Zeitbudget:	Keine Übernahme
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Instruktion angelehnt an SAE Level 2: Automatisierte Fahrfunktion, die sowohl hinsichtlich Längs- als auch Querführung permanent überwacht werden muss. Falls Abweichungen zu einer instruierten Soll-Funktionsleistung auftreten, soll dies durch einen Tastendruck kenntlich gemacht werden. Eine Übernahme der Fahrzeugsteuerung durch den Probanden ist nicht notwendig. Demonstration der Automatisierung (gefahren von Versuchsleiter) vor Messdatenaufzeichnung
Anzahl der erlebten Übernahmeanforderungen vor Versuchsbeginn:	Keine Übernahme
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	ca. 65 min Automatisierungsdauer, danach Versuchsende ohne TOR

TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	Keine Übernahme
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Keine HAF-Deaktivierung
Systemverhalten nach TOR:	Kein TOR

### 3.3.2.1.3.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellungen:	Auf welche Weise kann in dem gewählten Versuchssetting Müdigkeit induziert werden? Ist die Machbarkeit des Wizard-of-Oz Ansatzes hier gegeben? Welchen Einfluss hat eine kontinuierliche Überwachung einer automatisierten Fahrfunktion auf die Müdigkeit und Vigilanz eines Menschen? Nach welcher Automatisierungsdauer ist in diesem Versuchssetting von einer erhöhten Müdigkeit und einem niedrigen Vigilanzniveau der Probanden auszugehen?
Unabhängige Variablen:	UV1: Fahrdauer, within UV2: regelmäßige Automatisierungsfehler, between: Gruppe A: nur ein Automatisierungsfehler nach ca. 50 min; Gruppe B: Automatisierungsfehler alle ca. 8 min.
Abhängige Variablen:	AV1: EEG-Alphaspindelrate AV2: EKG-Herzrate AV3: Erkennungsrate von Automatisierungsfehlern AV4: Subjektivurteile, einschließlich Müdigkeitsrating
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Blindheit der Probanden gegenüber Wizard-of-Oz Methodik gegeben</li> <li>- Das gewählte Versuchssetting ist in der Lage, eine Ermüdung der Probanden hervorzurufen</li> <li>- Nach dem Versuch sind die Probanden signifikant subjektiv müder als vor dem Versuch</li> <li>- Große individuelle Unterschiede im Ermüdungsverhalten</li> <li>- Clusterung der Probanden in „müde geworden“ und „nicht müde geworden“ anhand der EEG-Alphaspindeln möglich</li> <li>- Bei Probanden, die müde wurden: Monotoner Ermüdungsanstieg in den ersten 20 Minuten, danach maximale Ermüdung im Mittel nach 25 Minuten</li> <li>- EEG-Alphaspindeln können sensitiv auf vorhandene „Automatisierungsfehler“ reagieren (teils kurzzeitige Ermüdungsreduktion, abhängig von der Fahrdauer)</li> </ul>
Fazit aus Studie für AP 3.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Das gewählte Versuchssetting kann ebenfalls für die Folgeuntersuchung in AP 3.3 verwendet werden</li> <li>- EEG-Alphaspindeln sind geeignet, in dem verwendeten Versuchssetting Ermüdung beim automatisierten Fahren messbar zu machen</li> <li>- Um Strategien zur Ermüdungsreduktion weiter zu erforschen, kann es für Versuch 2 ausreichen, unter gegebenen Bedingungen ca. 30 Minuten automatisiert zu fahren</li> </ul>

### 3.3.2.1.4 BMW Versuch 1 Erzeugung, Messung und Auswirkung von passiver aufgabenbezogener Müdigkeit

#### 3.3.2.1.4.1 Fotodokumentation



Abbildung 73: Kombi HAF aktiv.



Abbildung 74: Übernahmeaufforderung.

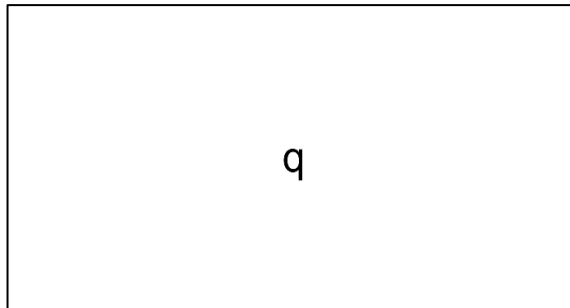


Abbildung 75: monotone FFT „Pqpd“.

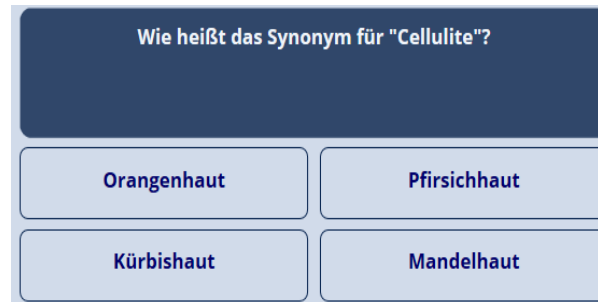


Abbildung 76: aktivierende FFT „Quiz“.



Abbildung 77: Fahrzeuginnenraum.

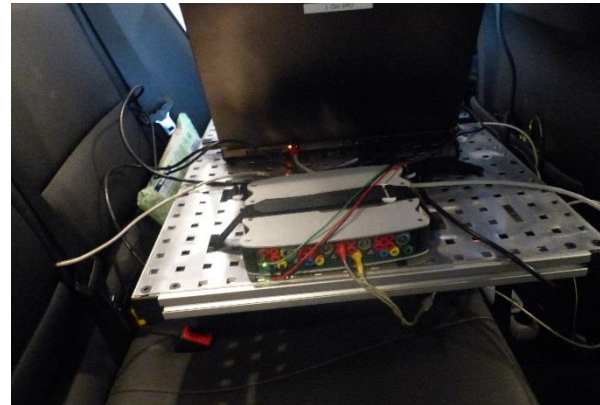


Abbildung 78: G.Tec Sensorik, physiologische Messung.

#### 3.3.2.1.4.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Juni 2016
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände))	Dynamischer Fahrsimulator BMW
Stichprobengröße:	58 Probanden
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	BMW Mitarbeiter
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.)	Fahrt auf einer dreispurigen Autobahn mit Standstreifen, $v = 130\text{km/h}$ , geringe – mittlere Verkehrsdichte

Beschreibung Übernahmeszenario:	Zwei unterschiedliche Szenarios (within-Design): <ul style="list-style-type: none"> <li>- Unfall auf Ego-Spur</li> <li>- Sensorausfall vor Rechtskurve</li> </ul>
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unfall auf Ego-Spur → dringlich, nicht prädzierbar, kritisch, komplex</li> <li>- Sensorausfall → dringlich, nicht prädzierbar, kritisch, wenig komplex</li> </ul>
Zeitbudget:	7s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Erklärung HAF inkl. Systemgrenzen, Eingewöhnungsfahrt inkl. Übernahmen (Lenken, Bremsen Knopfdruck)
Anzahl der erlebten Übernahmeauforderungen vor Versuchsbeginn:	drei
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	Zwei Fahrten, jeweils 25min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	Akustisches Warnsignal, Einblendung rotes Lenkradsymbol im Kombidisplay, Fahrzeug verzögert mit Schleppmoment
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Bremsung, Lenkung, Knopf am Lenkrad
Systemverhalten nach TOR:	Verzögerung mit Schleppmoment

### 3.3.2.1.4.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Einfluss unterschiedlicher FFTs auf den Fahrerzustand Müdigkeit
Unabhängige Variablen:	FFT
Abhängige Variablen:	KSS, PERCLOS, physiolog. Parameter
Hauptergebnisse:	Starke Veränderung von KSS & PERCLOS in Abhängigkeit der FFT, Korrelation PERCLOS mit KSS, keine signifikanten Änderungen der physiolog. Parameter, höhere Müdigkeit bei monotoner Tätigkeit während HAF
Fazit aus Studie	Monotone FFTs eignen sich um Müdigkeit bei HAF zu provozieren
Fragestellung 2:	Einfluss von passiver aufgabenbezogener Müdigkeit (durch Pqpd-Aufgabe) verglichen mit einer Quiz-Aufgabe, die Müdigkeit verhindern sollte auf die Übernahmeleistung
Unabhängige Variablen:	Within: NDRT (Quiz, Pqpd)
Abhängige Variablen:	Fahrparameter, Reaktionszeiten (handsOn, erste Bremsreaktion, Lenkwinkel < 2°, Bremspedalbetätigung < 10%)
Hauptergebnisse:	Keine Unterschiede bei der Übernahme. Keine Unterschiede der Fahrparameter und auch keine Unterschiede bei den Reaktionszeiten.

Fazit aus Studie	Nach 25min und der Beschäftigung mit fahrfremden Tätigkeiten zeigen sich zwar Unterschiede in der Müdigkeit des Fahrers. Allerdings hat dieser Unterschied keine Auswirkungen auf die Fahrzeugübernahme.
Fragestellung 3:	Einfluss unterschiedlich komplexer Übernahme-situationen
Unabhängige Variable:	Übernahmeszenario
Abhängige Variablen:	Fahrparameter, Empfundene Kritikalität
Hauptergebnisse:	Keine Unterschiede zwischen den Szenarien, tendenziell wird das weniger kritische Szenario als kritischer empfunden (Probanden wissen nicht wieso Fahrzeug abwirft)
Fazit aus Studie	Keine Unterschiede hinsichtlich unterschiedlicher Übernahmeszenarien

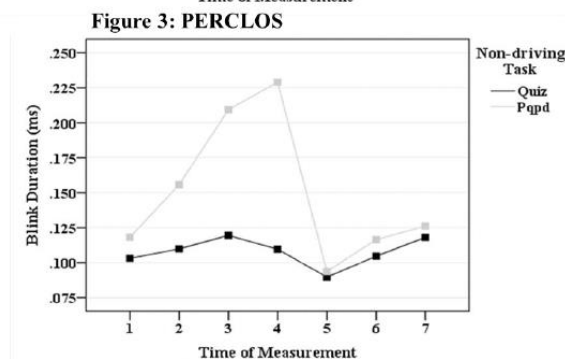
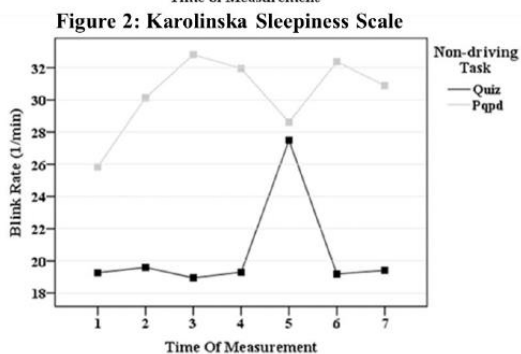
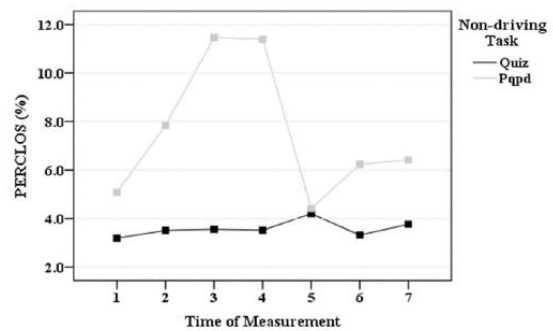
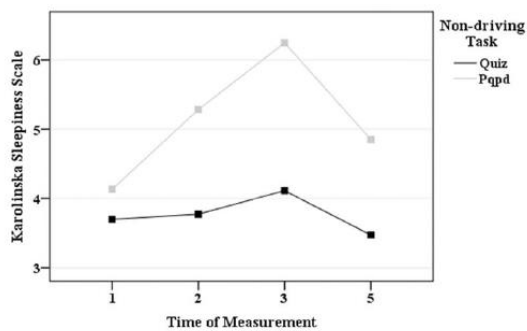


Abbildung 79: Ergebnisse in Abhängigkeit der unterschiedlichen Tätigkeiten.



### 3.3.2.1.5 BMW Versuch 2 – Auswirkungen natürlicher FFTs auf die Übernahmeleistung

#### 3.3.2.1.5.1 Fotodokumentation



Abbildung 80: Fahrzeuginnenraum.



Abbildung 81: Kombiinstrument.



Abbildung 82: Übernahmeaufforderung.

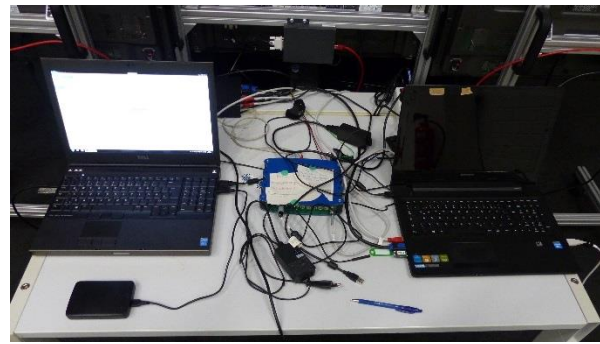


Abbildung 83: Messequipment, physiologische Messung.



Abbildung 84: Nebenaufgabe Auswahl Lesen.

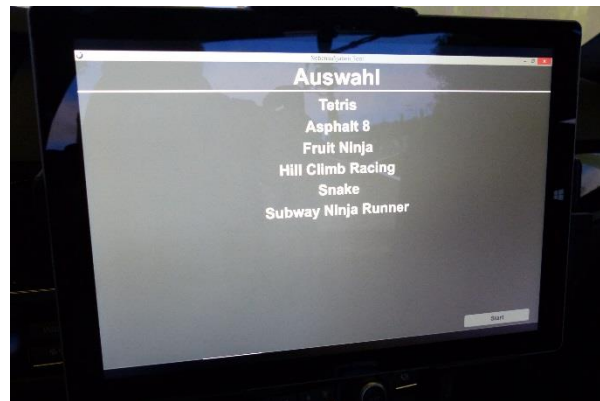


Abbildung 85: Nebenaufgabe Auswahl Spielen.

#### 3.3.2.1.5.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Dezember 2016
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände / öffentl. Gelände))	Statischer Fahrsimulator BMW
Stichprobengröße:	64 Probanden (55 Probanden in Auswertung eingeschlossen)
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	Interne und externe BMW Mitarbeiter

Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	Fahrt auf einer dreispurigen Autobahn mit Standstreifen, geringe-mittlere Verkehrsdichte, $v = 130 \text{ km/h}$ Fahrt 1 und Fahrt 2 waren identisch (59 km, 27-30 min)
Beschreibung Übernahmeszenario:	Unfall auf Ego-Spur in beiden Fahrten
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Dringlich, nicht präzifizierbar, komplex, kritisch
Zeitbudget:	7s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Erklärung HAF inkl. Systemgrenzen, Einführungsfahrt inkl. Übernahmemöglichkeiten (Bremsen, Lenken, Knopfdruck)
Anzahl der erlebten Übernahmeanforderungen vor Versuchsbeginn:	2
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	Fahrt 1: 24min (50km), Fahrt 2: 24min (50km)
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	Kombi: rotes Lenkradsymbol mit Händen Tablet: Lesen aktueller Text, Spielen aktuelles Spiel oder Spielen (mit Unterbrechung) rotes Lenkradsymbol mit Händen Akustisches Warnsignal Fahrzeug verzögert mit Schleppmoment
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Bremsen, Lenken, Knopfdruck am Lenkrad
Systemverhalten nach TOR:	Verzögerung mit Schleppmoment

### 3.3.2.1.5.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Haben natürliche FFT einen Einfluss auf die Übernahmeleistung der Fahrer?
Unabhängige Variablen:	Mit FFT, keine FFT
Abhängige Variablen:	Kritikalität der Situation, Bewältigung der Situation, Reaktionszeiten, Fahrverhalten
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ohne FFT schnellere Bremsbereitschaft und -betätigung (&gt; 10%)</li> <li>- Ohne FFT geringere minimale Geschwindigkeit</li> <li>- Ohne FFT höhere Längsverzögerung und max. Bremspedalbetätigung</li> </ul>
Fazit aus Studie	Ohne FFT wird schneller und stärker gebremst, weist aber nicht zwingend auf eine bessere Übernahme hin
Fragestellung 2:	Welches Verhalten zeigen die Fahrer in der kritischen Situation in Abhängigkeit der FFT?
Unabhängige Variablen:	Spielen, Spielen mit Unterbrechung, Lesen
Abhängige Variablen:	Kritikalität der Situation, Bewältigung der Situation, Reaktionszeiten, Fahrverhalten
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Signifikant längere Zeit bis Lenkwinkel <math>&gt;2^\circ</math> bei FFT Lesen vs. Spielen mit Unterbrechung</li> <li>- Tendenziell kürzere Reaktionszeit bis Bremspedal <math>&gt;10\%</math> bei FFT Lesen vs. Spielen mit Unterbrechung</li> <li>- Kein signifikanter Effekt bzgl. Reaktionsgüte</li> </ul>

Fazit aus Studie	Hinweis, dass verschiedene Tätigkeiten unterschiedliches Übernahmeverhalten fördern
Fragestellung 3:	Welchen Einfluss hat die Einbindung des TOR in die FFT?
Unabhängige Variablen:	Spielen, Spielen mit Überblendung
Abhängige Variablen:	Kritikalität der Situation, Bewältigung der Situation, Reaktionszeiten, Fahrverhalten
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bei Spielen mit Unterbrechung tendenziell größere subjektive Kritikalität und geringere Bewältigungsgüte</li> <li>- Keine signifikanten Unterschiede in Übernahmezeit oder -qualität</li> </ul>
Fazit aus Studie	Überblendung von FFT durch Übernahmeaufforderung führt dazu, dass Situation subjektiv kritischer wahrgenommen wird, aber nicht zu Unterschieden in der Übernahmeleistung

### 3.3.2.1.6 BMW Versuch 3 – Einfluss von Müdigkeit auf die Übernahmeleistung bei längeren Automationsdauern

#### 3.3.2.1.6.1 Fotodokumentation



Abbildung 86: Kombi HAF aktiv.



Abbildung 87: Übernahmeaufforderung.

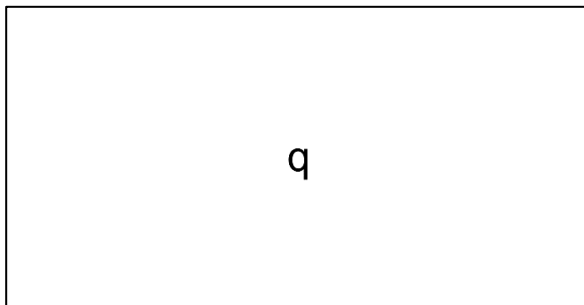


Abbildung 88: monotone FFT „Pqpd“.

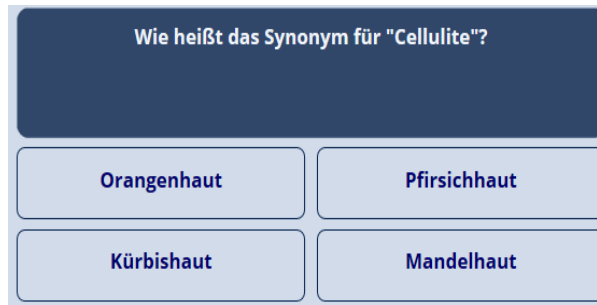


Abbildung 89: aktivierende FFT „Quiz“.



Abbildung 90: Fahrzeuginnenraum.

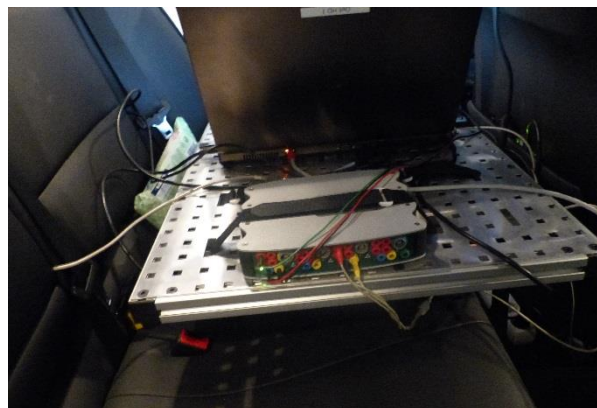


Abbildung 91: G.Tec Sensorik, physiologische Messung.

#### 3.3.2.1.6.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Februar 2017
Methode (Fahrstim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände))	Dynamischer Fahrstimulator BMW
Stichprobengröße:	72 Probanden
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	BMW Mitarbeiter
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	Fahrt auf einer dreispurigen Autobahn mit Standstreifen, v = 130km/h, geringe – mittlere Verkehrsdichte, identisch zu Ko-HAF 1 allerdings die doppelte HAF-Dauer
Beschreibung Übernahmeszenario:	Unfall auf Ego-Spur

Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Unfall auf Ego-Spur → dringlich, nicht präzifizierbar, kritisch, komplex
Zeitbudget:	7s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Erklärung HAF inkl. Systemgrenzen, Eingewöhnungsfahrt inkl. Übernahmen (Lenken, Bremsen Knopfdruck)
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	drei
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	50min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung:	Akustisches Warnsignal, Einblendung rotes Lenkradsymbol im Kombidisplay, Fahrzeug verzögert mit Schleppmoment
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Bremung, Lenkung, Knopf am Lenkrad
Systemverhalten nach TOR:	Verzögerung mit Schleppmoment

### 3.3.2.1.6.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Einfluss unterschiedlicher FFT auf den Fahrerzustand Müdigkeit
Unabhängige Variablen:	FFT
Abhängige Variablen:	KSS, PERCLOS, physiolog. Parameter
Hauptergebnisse:	signifikante Änderung des KSS-Ratings bei beiden FFTs in Abhängigkeit der Versuchsdauer, signifikante Veränderung PERCLOS in Abhängigkeit der FFT, Verändertes Übernahmeverhalten hinsichtlich gezeigter Reaktion: - Bei monotoner Tätigkeit → deutlich mehr Stehenbleiber - Bei Quiz → deutlich mehr Vorbeifahrer Deutlich beeinträchtigte Übernahmen nach längerer automatisierter Fahrt.
Fazit aus Studie	Nach 50min hochautomatisierter Fahrt Müdigkeitsercheinungen bei beiden FFTs, kein höherer Anstieg des PERCLOS im Vergleich zu Ko-HAF1.

Fragestellung 2:	Einfluss der Müdigkeit auf das Übernahmeverhalten
Unabhängige Variable:	FFT
Abhängige Variablen:	Reaktionszeiten, Verhalten der Fahrer nach TOR
Hauptergebnisse:	Beeinträchtigt Übernahmeverhalten nach ermüdender Tätigkeit, schlechtere Reaktionszeiten (Blickreaktion und erste Bremsreaktion) nach ermüdender FFT
Fazit aus Studie:	Nach längerem automatisierten Fahren und dem Bearbeiten von monotonen Überwachungsaufgaben, kann das Übernahmeverhalten negativ beeinträchtigt sein. Im

	Vergleich zu Ko-HAF 1 kam es zu beeinträchtigten Übernahmeleistungen.
Fragestellung 3:	Einfluss der Müdigkeit auf eine subjektive videobasierte Expertenbewertung der Übernahme (Take-Over Controlability Rating – TOC-Rating)
Unabhängige Variable:	FFT
Abhängige Variablen:	TOC score
Hauptergebnisse:	Keine Unterschiede im TOC-Rating in Abhängigkeit der FFTs
Fazit aus Studie	Das TOC-Rating ist nur bedingt für die Bewertung von kritischen Übernahmen geeignet, die durch mehrere Strategien gelöst werden können (z.B. Anhalten oder Ausweichen). Probanden die anhalten können deutlich weniger „Fehlerpunkte“ erhalten also Probanden die ein komplexeres Ausweichmanöver fahren (z.B. Aspekte der Querführung, des Lenkverhaltens, der Spur).

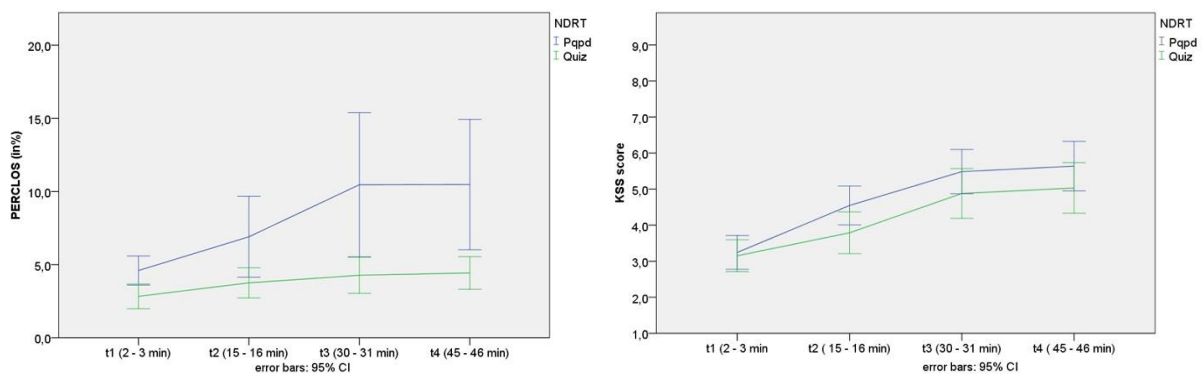


Abbildung 92: Verlauf PERCLOS und KSS für beide Tätigkeiten.

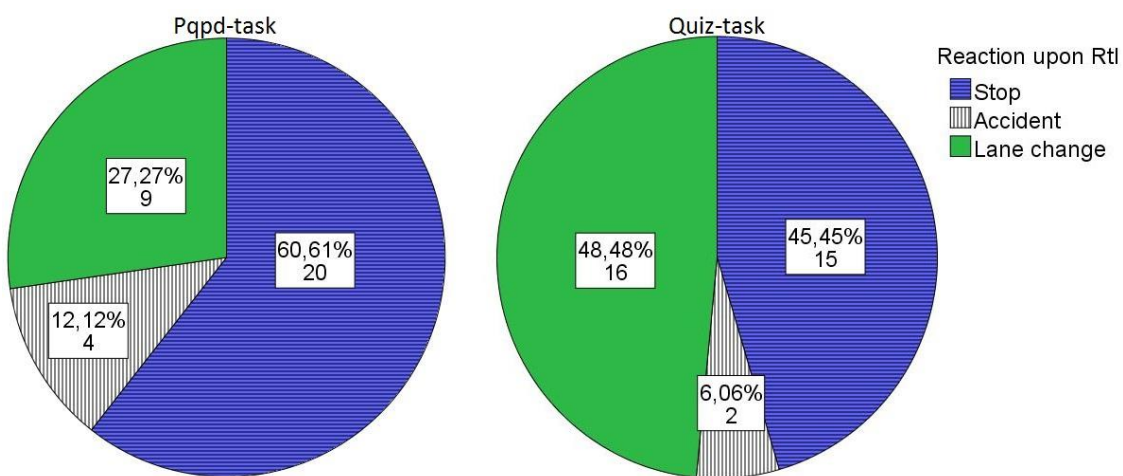


Abbildung 93: Reaktion der Fahrer nach TOR.





	Anzahl der Spurwechsel stieg (insg. 36) sowie die Geschwindigkeit dabei 6 unsichtbare Geschwindigkeitsänderungen Seitenwind und Pendeln in der Spur hügelige Strecken
Beschreibung Übernahmeszenario:	Unfall auf Ego-Spur
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Dringlich, nicht prädzierbar, komplex, kritisch
Zeitbudget:	7s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Erklärung HAF inkl. Systemgrenzen, Einführungsfahrt inkl. Übernahmemöglichkeiten (Bremsen, Lenken, Knopfdruck)
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	1
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	32min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	Kombi: rotes Lenkradsymbol mit Händen Akustisches Warnsignal Fahrzeug verzögert mit Schleppmoment
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Bremsen, Lenken, Knopfdruck am Lenkrad
Systemverhalten nach TOR:	Verzögerung mit Schleppmoment

### 3.3.2.1.7.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Welches Verhalten zeigen die FahrerInnen nach der kritischen Situation in Abhängigkeit des Wohlbefindens?
Unabhängige Variablen:	Wohlbefinden
Abhängige Variablen:	Kritikalität der Situation, Bewältigung der Situation, Reaktionszeiten, Fahrverhalten
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 33% der Probanden schätzen die Situation als gefährlich ein</li> <li>- 25% der Probanden bewältigten die Übernahme ihrer Ansicht nach gut</li> <li>- Kein Unterschied in der Lenkreaktionszeit- und Lenkwinkel, Bremspedalbetätigung sowie Quer- und Längsbeschleunigung zwischen Übelkeit und keine Symptome</li> <li>- Probanden mit Symptomen bauen tendenziell höheren Bremsdruck auf und haben tendenziell einen geringeren Abstand zum Unfall</li> </ul>
Fazit aus Studie für	Motion Sickness Symptome ohne Übelkeit haben keinen Einfluss auf die Übernahmeleistung

### 3.3.2.1.8 BMW Versuch 5 – Wizard-of-Oz-Studie zum Einfluss unterschiedlicher FFTs auf den Fahrerzustand Müdigkeit

#### 3.3.2.1.8.1 Fotodokumentation

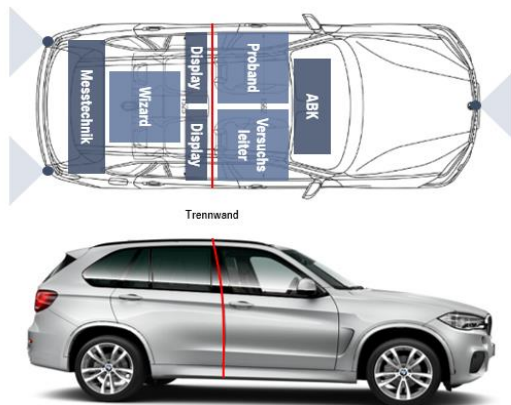


Abbildung 96: Wizard-of-Oz Fahrzeug.



Abbildung 97: Fahrzeuginnenraum.



Abbildung 98: Kombi HAF aktiv.



Abbildung 99: Übernahmeaufforderung.



Abbildung 100: monotone FFT „Pqpdp“.



Abbildung 101: Fahrstrecke.

#### 3.3.2.1.8.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	April (KW 16) - Mai (KW 22) 2018
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände / öffentl. Gelände)):	WoOZ Realfahrzeug auf A92
Stichprobengröße:	43
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	Fachfremde BMW Mitarbeiter
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	Autobahn A92, Flughafen München – Pilsting und zurück. Mittlere Verkehrsdichte. $v = 110\text{km/h}$

Beschreibung Übernahmeszenario:	Wanderbaustellen, Autobahnabfahrt und stationäre Baustellen
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Gering, nicht kritisch, eingeschränkt präzifizierbar, simpel
Zeitbudget:	45s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Erklärung HAF inkl. Systemgrenzen, Übung im Stand und Schrittgeschwindigkeit sowie auf der Autobahn inkl. Übernahmen (Knopfdruck)
Anzahl der erlebten Übernahmeanforderungen vor Versuchsbeginn:	Drei (Im Stand, Schrittgeschwindigkeit, Autobahn)
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	Bei unvorhersehbaren Wanderbaustellen unterschiedlich. Ohne Wanderbaustellen ca. 30 Minuten.
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	Akustisches Warnsignal, Einblendung blaues Lenkradsymbol im Kombidisplay mit 45 Sekunden Timer, Wizard Fahrer steuert weiter, drosselt aber das Tempo
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Hände an das Lenkrad nehmen und Taste am Lenkrad (auf Speiche) drücken
Systemverhalten nach TOR:	Fährt automatisiert weiter, lässt aber Ausrollen

### 3.3.2.1.8.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Einfluss unterschiedlicher FFTs auf den Fahrerzustand Müdigkeit im Realverkehr
Unabhängige Variablen:	FFT (monotone vs. aktivierende / freie Tätigkeit)
Abhängige Variablen:	KSS, PERCLOS
Hauptergebnisse:	<p>KSS: Signifikante Änderung des KSS-Ratings in Abhängigkeit der FFT und in Abhängigkeit der Versuchsdauer. Höchste KSS: Ende Fahrt nach 60 Minuten bei Probanden mit monotoner Aufgabe. Niedrigste KSS: Beginn der Fahrt nach 3 Minuten bei Probanden mit freier Tätigkeit. KSS steigt bei beiden Gruppen mit zunehmender Fahrdauer an, allerdings bei der Gruppe mit monotoner Tätigkeit stärker.</p> <p>PERCLOS: Signifikante Veränderung des PERCLOS in Abhängigkeit der FFT und in Abhängigkeit der Versuchsdauer. Höchster PERCLOS: Ende der Fahrt nach 60 Minuten bei Probanden mit monotoner Aufgabe. Niedrigster PERCLOS: Ende der Fahrt nach 60 Minuten bei Probanden mit freier Tätigkeit. PERCLOS steigt nur bei der Gruppe mit monotoner Tätigkeit im Laufe der Zeit an und nicht bei Probanden mit freier Tätigkeit.</p>
Fazit aus Studie	Müdigkeit beim automatisierten Fahren entsteht im Realverkehr ähnlich schnell wie im Simulator (Ko-HAF 1 und Ko-HAF 3). Vor allem bei Bearbeitung einer monotonen Tätigkeit. Eine freie Auswahl der ausgeführten Tätigkeit kann dazu beitragen die Müdigkeit gering zu halten.

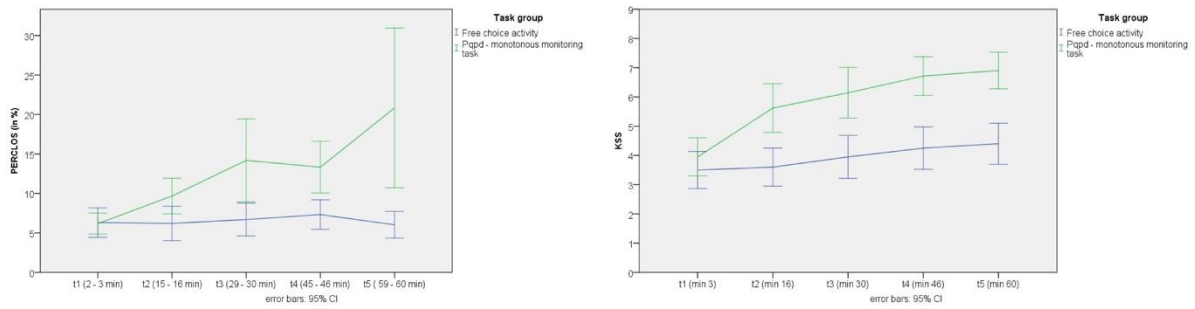


Abbildung 102: Verlauf PERCLOS und KSS für beide Tätigkeiten.

### 3.3.2.1.9 Bosch Versuch 1

#### 3.3.2.1.9.1 Fotodokumentation



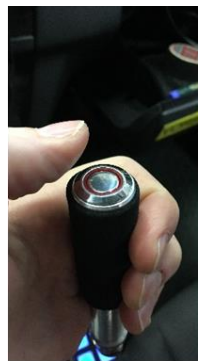
Elemente des Anzeige-/Bedienkonzepts des „Autobahn-Piloten“



Beispielhafte Fahrertätigkeiten während der hochautomatisierten Fahrt



Bedienelemente für Sekundärfunktionen (links) und Zu-/Abschaltung der steer-by-wire-Lenkung (rechts)



Bedienelemente für Längsregelung (Pedalerie im Fußraum) und Querregelung (Rotationshebel in Armablage)



Software zur manuellen Ansteuerung der Anzeige Komponenten für „HMI-Wizard“ hinten rechts im Fahrzeug

Abbildung 103: Fotodokumentation Bosch Versuch 1.

#### 3.3.2.1.9.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	April 2017
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug):	Realfahrzeug (Wizard-of-Oz-Fahrer vorne rechts)
Stichprobengröße:	34
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	Keine Bosch-Mitarbeiter, grundsätzliches Interesse an HAF, breites Bildungs- und Altersspektrum

Beschreibung Übernahmeszenario:	Nicht vorhersehbarer Sensorausfall auf gerader Strecke, kein akutes Manöver (Fahrstreifenwechsel oder Abbremsmanöver).
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Prädizierbarkeit: gering Dringlichkeit: mittel (aufgrund Formulierung der Sprachausgabe) Kritikalität: gering Komplexität des Fahrmanövers: gering
Zeitbudget:	Für Probanden nicht transparent (Restzeit bis Erreichen der Systemgrenze wurde nicht explizit kommuniziert; in der Instruktion wurde lediglich darauf hingewiesen, dass die Automatisierung bei ausbleibender Reaktion auf der Autobahn in den Stillstand abbremsen würde).
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Ausführliche Erklärung der HAF-Funktionalität vor Fahrtbeginn (Funktionsumfang, Anzeige-/Bedienkonzept, Fahrerrolle).
Anzahl der erlebten Übernahmeanforderungen vor Versuchsbeginn:	Ca. 4 Übernahmen (zwei im Stand, zwei während langsamer Fahrt auf Teststrecke)
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	Je nach Versuchsbedingung ca. 5 Minuten oder 15 Minuten
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	Akustisch: Mitteldringlicher Signalton + Sprachausgabe „Bitte deaktivieren Sie sofort den Autopiloten und übernehmen Sie die Fahrzeugkontrolle!“ Visuell: Lenkradsymbol mit Händen und roter Schrift „Systemgrenze: Bitte übernehmen!“ im Kombiinstrument und im HUD Die Übernahme konnte zu jedem Zeitpunkt erfolgen (auch während der Sprachausgabe)
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Ziehen zweier symmetrisch angeordneter Lenkradwippen im oberen Bereich des Lenkrads für 1 Sekunde, danach erst wurde der manuelle Fahrmodus freigeschaltet
Systemverhalten nach TOR:	Geschwindigkeitsreduktion durch Schlepplmoment

### 3.3.2.1.9.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung:	Welchen Einfluss haben verschiedenen Arten von fahrfremden Tätigkeiten auf die Übernahmezeit?
Unabhängige Variablen:	<ol style="list-style-type: none"> <li>Art der Nebenaufgabe (Within-Faktor) <ul style="list-style-type: none"> <li>Tetris spielen auf fest installiertem Tablet;</li> <li>(Selbst gewählten) Podcast hören;</li> <li>(Selbst gewählte) Zeitschrift lesen;</li> <li>Bestimmte Spielzeugfiguren aus schlecht erreichbarem Beutel aussuchen und in Sammelbehälter ablegen);</li> <li>Die Fahrsituation beobachten (keine FFT)</li> </ul> </li> <li>Mindestlänge der automatisierten Fahrt (Between-Faktor): <ul style="list-style-type: none"> <li>5 Minuten</li> <li>15 Minuten</li> </ul> </li> </ol>
Abhängige Variablen:	<ul style="list-style-type: none"> <li>Übernahmezeit (inkl. Unterkomponenten) ab Beginn der Übernahmeanforderung</li> </ul>



- Übernahmequalität: Querregelung (z.B. SDLP), subjektive Aussagen

Hauptergebnisse:

- Generell gute Kontrollierbarkeit der Übernahmen; vereinzelte negative Bewertungen der (subjektiven) Kontrollierbarkeit bei starker körperlicher Abwendung
- Übernahmezeiten (siehe Abbildung 1): Mittelwerte (90%-Perzentil):
  - o Fahrsituation beobachten: 3,0s (4,4s)
  - o Hörbuch: 3,3s (5,6s)
  - o Tetris: 3,5s (6,4s)
  - o Zeitschrift: 5,0s (7,4s)
  - o Suchaufgabe: 5,0s (7,4s)
- Der Einfluss unterschiedlicher Fahrdauern (5 vs. 15 Minuten) auf die Übernahmezeit war statistisch signifikant nicht nachweisbar
- Nach Übernahme der Fahrzeugkontrolle entspricht die Qualität der Querregelung bereits nach 5 Sekunden dem „normalen“ Niveau (siehe Abbildung 105)

Fazit aus Studie für Fragestellung:

- Neben interindividuellen Unterschieden verursachen vor allem motorische Aspekte der Übernahmephase (Weglegen von Gegenständen) die größte Varianz in den Übernahmezeiten
- Der Wizard-of-Oz Ansatz erlaubt in Verbindung mit den gewählten Parametern des Testszenarios eine valide Abschätzung des benötigten Übernahmezeitbedarfs

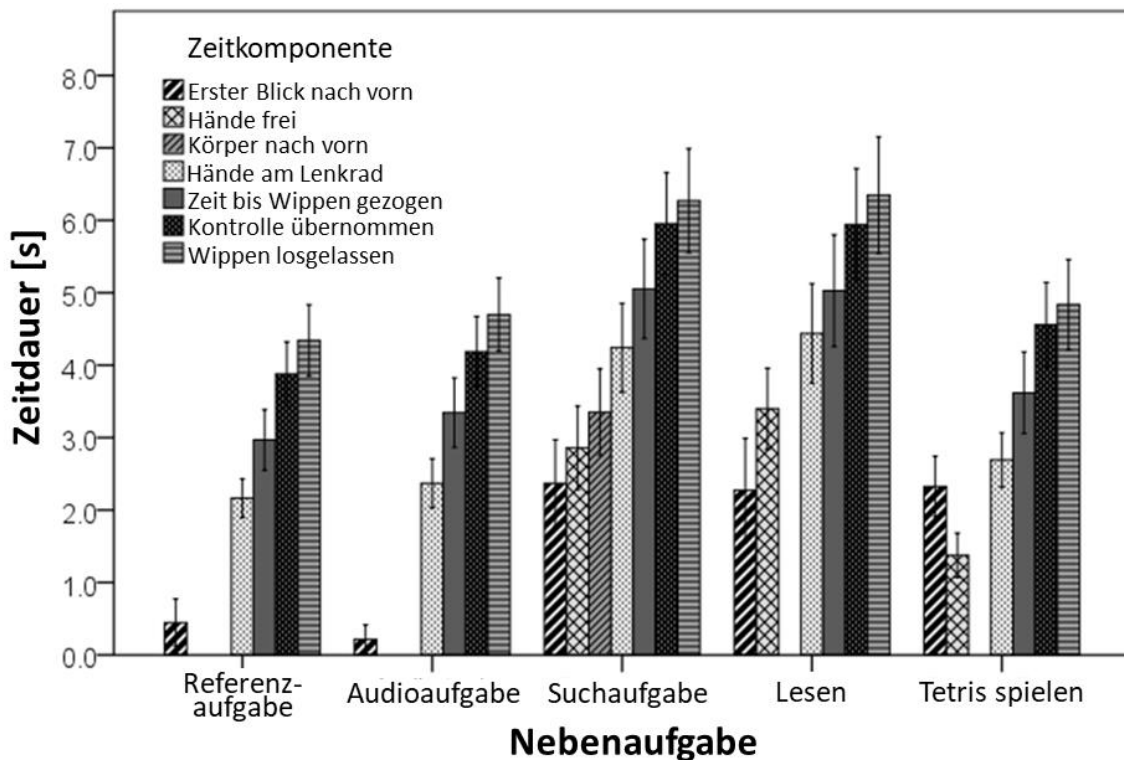


Abbildung 104: Übernahmedauern (Zeit bis zum Heranziehen der Lenkradwippen) und andere Zeitdauern im Zusammenhang mit der manuellen Kontrollübernahme durch den Fahrer. Abgebildet sind Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle.

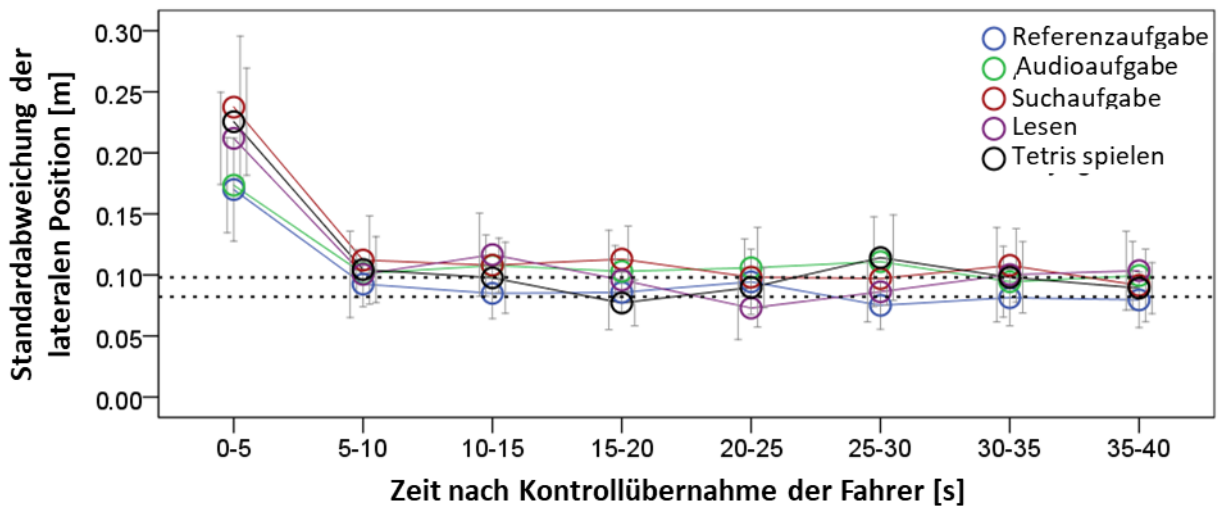


Abbildung 105: Standardabweichung der lateralen Spurposition (SDLP), gemittelt über 5-Sekunden-Intervalle nach Kontrollübernahme; Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle.

### 3.3.2.1.10 IZVW, Universität Würzburg Versuch 1

#### 3.3.2.1.10.1 Fotodokumentation



Abbildung 106: Auswahl von Tätigkeiten aus Studie 1 (v.l.n.r.): Video, Suchaufgabe, Tetris®.



Abbildung 107: Die Übernahme-situation (Kurve) und Visuelle Komponenten von TOR1 (links) und TOR2 (rechts).

#### 3.3.2.1.10.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	03/2016
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Dynamischer Fahrsimulator
Stichprobengröße:	N=19
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	- 12 männlich, 7 weiblich - Alter: M=27,6 Jahre (sd= 5,6)

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- n=12 mit Vorerfahrung Automation/Assistenz, allerdings nicht im eigenen Fahrzeug</li> <li>- n=7 ohne jegliche Assistenz / Automationserfahrung</li> </ul>
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.)	6-spurige Autobahnfahrt, mittlere Verkehrsdichte, 130 km/h
Beschreibung Übernahmeszenario:	Systemausfall bei Beginn einer Rechtskurve (Ausfall Querführung)
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Mittel kritisch, da kein Umgebungsverkehr in der Übernahmesituation
Zeitbudget:	4s vor Kurvenbeginn erster TOR und Schleppmoment, 2s vor Kurvenbeginn zweiter TOR und Ausfall der Querführung; Zeitbudget bis Spurübertretung ab TOR: Ca. 6s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Level 3 – Fahrer muss nicht überwachen, jedoch kann es Situationen geben, in denen das Fahrzeug innerhalb eines angemessenen Zeitraums zur Übernahme auffordert
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	2
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	ca. 3min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	2-stufige Warnung (4s und 2s vor Systemgrenze), jeweils akustisch und visuell
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Beidseitiger Tastendruck am Lenkrad, allerdings Mittlen bereits ab Systemgrenze möglich
Systemverhalten nach TOR:	Nach TOR1 (4s vor Grenze) Schleppmoment, nach TOR2 (2s vor Grenze) Ausfall der Querführung

### 3.3.2.1.10.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Wie wirken sich völlig unterschiedliche fahrfremde Tätigkeiten auf die Dauer und Qualität von Übernahmen aus?
Unabhängige Variablen:	Art der fahrfremden Tätigkeit: Denkaufgabe (Rechenaufgaben zur Tankreichweite), Suchaufgabe auf der Rückbank, Video auf Tablet ansehen (Tagesschau), Tetris® spielen auf Tablet, Baseline
Abhängige Variablen:	Subjektiv u.a.: Skala zur Bewertung der Kritikalität von Fahr- und Verkehrssituationen, Rechtzeitigkeit TOR, Übernahmebereitschaft Objektiv u.a.: Dauer bis Hands-On, Dauer bis Tastendruck, SDLP, max. Querversatz, max. Quer- / Längsbeschleunigung
Hauptergebnisse:	Deutliche Unterschiede zwischen den FFT auf objektiver und subjektiver Ebene. Die Tetris®-Aufgabe schnitt sowohl in der Kritikalitätsbewertung als auch in fast allen Übernahmezeiten deutlich schlechter ab als die anderen FFT. Die Auswirkungen der FFT auf die Übernahmequalität waren weniger stark ausgeprägt.

Die Ergebnisse weisen unter anderem darauf hin, dass die Belegung beider Hände sowie die Notwendigkeit zur Körperdrehung weg vom zentralen Blickfeld Übernahmezeiten verglichen mit einer rein kognitiven Tätigkeit erhöhen können. Die Kritikalität der Situationen wurde von den Fahrern maximal als „unangenehm“ mit Tendenz zu „harmlos“ eingeschätzt. Alle untersuchten Tätigkeiten gingen mit signifikant kritischeren Bewertungen einher als Situationen ohne fahrfremde Tätigkeit, wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Tätigkeiten auftraten.

Fazit aus Studie für Fragestellung:

Natürliche fahrfremde Tätigkeiten sind gut geeignet, um eine ganze Bandbreite von möglichen Einflussfaktoren auf Übernahmezeit und -qualität abzubilden. Eine Quantifizierung dieser Einflussfaktoren erfordert jedoch darüber hinaus deren systematische Variation.

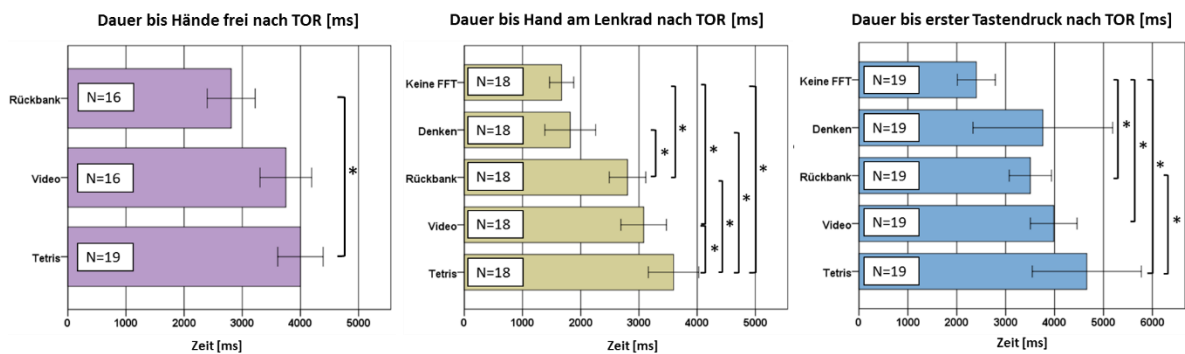


Abbildung 108: Einfluss der untersuchten Tätigkeiten auf verschiedene Übernahmemaße. Links: Dauer bis Hände frei sein; Mittig: Dauer bis Handerkennung am Lenkrad; Rechts: Übernahmezeit.

### 3.3.2.1.11 IZVW, Universität Würzburg Versuch 2

#### 3.3.2.1.11.1 Fotodokumentation



Abbildung 109: Die fahrfremden Tätigkeiten aus Studie 2: Tetris®(links) und das Malspiel Kids Paint Free® (rechts).



Abbildung 110: Die Übernahmesituation (Kurve) und die visuellen Komponenten von TOR1 (links) und TOR2 (rechts).

### 3.3.2.1.11.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	11/2016
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Dynamischer Fahrsimulator
Stichprobengröße:	N=21
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 9 männlich, 12 weiblich</li> <li>- Alter: M=37 Jahre (sd= 11.9)</li> <li>- Alle Probanden hatten Smartphone-Erfahrung</li> </ul>
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	6-spurige Autobahnfahrt, mittlere Verkehrsdichte, 130 km/h
Beschreibung Übernahmeszenario:	Systemausfall in einer Rechtskurve (Ausfall Querführung)
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Hoch kritisch, da Nebenfahrzeug in der Übernahmesituation
Zeitbudget:	6 Sekunden zwischen TOR1 und Ausfall der Querführung Zeitbudget bis Spurübertretung ab TOR: Ca. 10s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Level 3 – Fahrer muss nicht überwachen, jedoch kann es Situationen geben, in denen das Fahrzeug innerhalb eines angemessenen Zeitraums zur Übernahme auffordert
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	1
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	ca. 3min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	2-stufige Warnung (6s vor sowie an der Systemgrenze), jeweils akustisch und visuell
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Beidseitiger Tastendruck am Lenkrad, allerdings Mitlenken bereits ab Systemgrenze möglich
Systemverhalten nach TOR:	Nach TOR1 (6s vor Grenze) Schleppmoment, nach TOR2 (an Grenze) Ausfall der Querführung

### 3.3.2.1.11.3 Fragestellungen und Ergebnisse

---

Fragestellung 1:	Wie wirken sich Unterschiede in der Fahrermotivation sowie der Unterbrechbarkeit der FFT auf die Dauer und Qualität von Übernahmen aus?
Unabhängige Variablen:	Art der fahrfremden Tätigkeit: Tetris® (Ziel hohe Fahrermotivation) und Malspiel (Ziel geringe Fahrermotivation); Unterbrechungsaufwand: Weglegen (geringer Aufwand) oder Verstauen in Kiste (hoher Aufwand)
Abhängige Variablen:	Subjektiv u.a.: Skala zur Bewertung der Kritikalität von Fahr- und Verkehrssituationen, Rechtzeitigkeit TOR, Übernahmebereitschaft; Objektiv u.a.: Dauer bis Hands-On, Dauer bis Tastendruck, SDLP, max. Querversatz, max. Quer-/Längsbeschleunigung
Hauptergebnisse:	Deutliche Unterschiede zwischen den Unterbrechungsaufwand-Stufen auf objektiver und subjektiver Ebene: Aufwändige Unterbrechung ging mit höheren Übernahmezeiten, geringerer Übernahmequalität und kritischeren Situationsbewertungen einher. Die Variation der FFT hatte kaum Auswirkungen auf die abhängigen Variablen. Allerdings zeigten sich bereits im Manipulationscheck (Nachbefragung) bei der Bewertung der Tätigkeiten durch die Probanden lediglich geringe Unterschiede zwischen den beiden Varianten. Die Variation der Anzahl erforderlicher Unterbrechungsschritte erzeugte deutliche Unterschiede in der Dauer, bis die Probanden ihre Hände ans Lenkrad nahmen <sup>11</sup> . Tätigkeiten mit hoher Anzahl von Unterbrechungsschritten gingen mit deutlich höheren Hands-on Zeiten einher als Tätigkeiten mit geringer Anzahl von Unterbrechungsschritten. Die Manipulation der Motivation zur Aufgaben-Bearbeitung hatte hingegen keinen Einfluss auf die Hands-on Zeiten.
Fazit aus Studie für Fragestellung:	Der Unterbrechungsaufwand fahrfremder Tätigkeiten ist ein wichtiger Einflussfaktor auf Übernahmekriterien. Zur Beurteilung von motivationalen Merkmalen der Fahrertätigkeiten sind weitere Untersuchungen erforderlich.

---

<sup>11</sup>An dieser Stelle werden Hands-on Zeiten berichtet, da in einigen Fällen keine Systemdeaktivierung durch die Probanden stattfand.



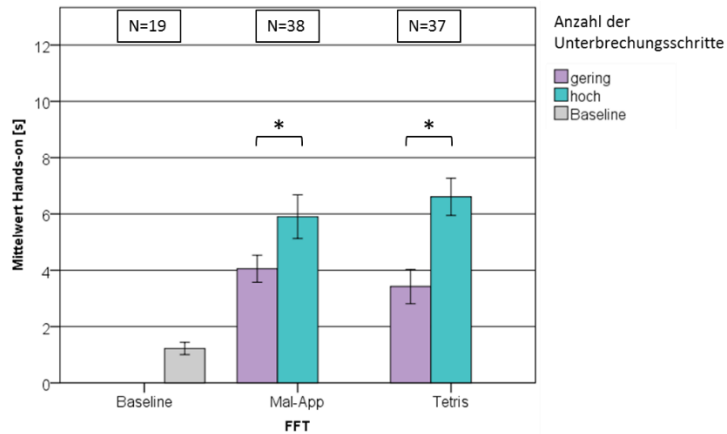


Abbildung 111: Einfluss der Anzahl der Unterbrechungsschritte auf Übernahmezeiten. In der Referenzbedingung („Baseline“) wurde keine fahrfremde Tätigkeit ausgeführt.

### 3.3.2.1.12 Lehrstuhl für Ergonomie, TUM Versuch 1

#### 3.3.2.1.12.1 Fotodokumentation



Abbildung 112: Statischer Fahrsimulators des Lehrstuhls für Ergonomie und Übernahmeaufforderung.



Abbildung 113: Anzeige der verschiedenen Modi der Automation.

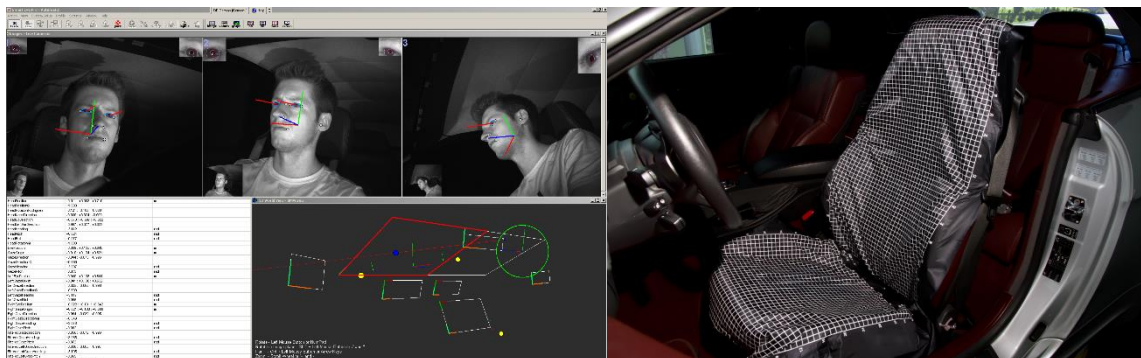


Abbildung 114: Bildschirmanzeige von SmartEye inklusive Weltmodell und Sitzdruckmatten im Simulator.



Abbildung 115: Übernahme-situationen Unfall, Baustelle und Autobahnkreuz (links → rechts).

### 3.3.2.1.12.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Juni/Juli 2016
Methode (Fahr-sim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Statischer Fahr-simulator des Lehrstuhls
Stichprobengröße:	57
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	22w, 35m, 19 – 70 Jahre, MW=32,8 Jahre (SD=13,2), 15 Personen mit Erfahrung HAF im Simulator
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	3-spurige Autobahn, 120km/h Geschw. der Automation, Verkehrsdichte entweder 0 oder 20 Fzg./km, Dauer autom. Fahrt vor Übernahme entweder 5min oder 30min
Beschreibung Übernahme-szenario:	7s Zeitbudget vor der Übernahme, Übernahmeaufforderung siehe Abbildung 112, „Unfall“ und „Autobahnkreuz“ sahen Fahrstreifenwechselmanöver vor, „Baustelle“ nur Stabilisierung
Einstufung Übernahme-szenario (gering/mittel/hoch):	Unfall (Prädizierbarkeit, Dringlichkeit, Kritikalität, Komplexität Reaktion): gering, mittel, hoch, hoch Baustelle (Prädizierbarkeit, Dringlichkeit, Kritikalität, Komplexität Reaktion): mittel, mittel, gering bis mittel, gering Autobahnkreuz (Prädizierbarkeit, Dringlichkeit, Kritikalität, Komplexität Reaktion): hoch, mittel, mittel, hoch
Zeitbudget:	7s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Ausführlich. Nach einer theoretischen Erklärung von Level 3 Systemen wird in einer Einführungsfahrt sowohl Automation als auch Übernahme gezeigt.
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	1 → Bei den 15 Personen mit HAF-Erfahrung im Simulator evtl. mehr.
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	5min vs. 30min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung:	Akustisches „Doppelpiepen“, ca. 4kHz, visuelles Symbol, siehe Abbildung 112 und Abbildung 113
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Übersteuern am Lenkrad (>2°), Betätigen der Pedalerie (>10%) oder Drücken des „Automationsknopfs“ am Lenkrad
Systemverhalten nach TOR:	Aufrechterhalten des Systemverhaltens bis Deaktivierung HAF durch Fahrer

### 3.3.2.1.12.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Wie unterscheidet sich die Bewältigung der Übernahme-situation zwischen manuellen Fahrern und in einer Übernahme?
Unabhängige Variablen:	Between: Automationslevel (manuell, HAF)
Abhängige Variablen:	Unfallquote, Absicherung, Bremsbeschleunigung, Querbeschleunigung, SDLP, TTC, Zeit bewusster Eingriff, Trajektorienverlauf Subjektiv: Kritikalität, Komplexität, Zeitbudget, Komfort
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insgesamt geringe Unfallquote (5 gesamt, 4 allerdings Baustelle durch einscherenden Fremdverkehr (HAF20))</li> <li>- Ca. 1/3 aller Manöver werden nicht abgesichert</li> <li>- TTC signifikant größer bei manuell, sonst keine Unterschiede</li> </ul>
Fazit aus Studie für Fragestellung 1:	Fahrer im Loop reagieren weniger kritisch als Fahrer in der Übernahme; es zeigt sich allerdings ein stärkerer Einfluss der Situation als durch das Automationslevel
Fragestellung 2:	Wie unterscheidet sich die Übernahmeleistung und das Fahrerverhalten vor der Übernahme bei unterschiedlichen Verkehrsdichten?
Unabhängige Variable:	Between: Verkehrsdichte (0 Fzg./km und 20 Fzg./km)
Abhängige Variablen:	Unfallquote, Absicherung, Bremsbeschleunigung, Querbeschleunigung, SDLP, TTC, Zeit bewusster Eingriff, Trajektorienverlauf Subjektiv: Kritikalität, Komplexität, Zeitbudget, Komfort Zustand: Eyetracking (Eyes on Road, HGD, Blinzeldauer, Pupillendurchmesser), Sitzdruck (Durchschnittsdruck, Kontaktfläche, COP)
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Querbeschleunigung signifikant größer bei Verkehr</li> <li>- TTC signifikant kleiner</li> <li>- Keine Unterschiede bei Eye-Tracking Metriken und Sitzdruckmetriken zwischen den Verkehrsdichten</li> </ul>
Fazit aus Studie für Fragestellung 2:	Ergebnisse bestätigen die bekannte Literatur, in der Verkehrsdichte zu kritischeren Reaktionen führt.
Fragestellung 3:	Wie unterscheidet sich die Übernahmeleistung bei unterschiedlichen Situationen?
Unabhängige Variable:	Within: Situation (Unfall, Baustelle, Autobahnkreuz)
Abhängige Variablen:	Unfallquote, Absicherung, Bremsbeschleunigung, Querbeschleunigung, SDLP, TTC, Zeit bewusster Eingriff, Trajektorienverlauf Subjektiv: Kritikalität, Komplexität, Zeitbudget, Komfort
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Situationen unterscheiden sich signifikant voneinander</li> <li>- Im ABkreuz wird am stärksten gebremst</li> <li>- Unfall weist die größten Querbeschleunigungen auf</li> <li>- In der Baustelle greifen die Probanden im Mittel am spätesten ein</li> </ul>

Fazit aus Studie für Fragestellung 3:	Situationsunterschiede scheinen den größten Einfluss auf die Übernahmeleistung zu haben, die Ergebnisse passen sonst gut zum Fazit der Dissertation von Christian Gold (je unkritischer, desto langsamer die Reaktion, sonst führt Kritikalität zu schlechteren Reaktionen)
Fragestellung 4:	Wie unterscheidet sich die Übernahmeleistung und das Fahrerverhalten vor der Übernahme bei unterschiedlichen langen Automationsdauern?
Unabhängige Variable:	Within: Fahrdauer (5min und 30min)
Abhängige Variablen:	Unfallquote, Absicherung, Bremsbeschleunigung, Querbewegungsbeschleunigung, SDLP, TTC, Zeit bewusster Eingriff, Trajektorienverlauf Subjektiv: Kritikalität, Komplexität, Zeitbudget, Komfort Zustand: Eyetracking (Eyes on Road, HGD, Blinzeldauer, Pupillendurchmesser), Sitzdruck (Durchschnittsdruck, Kontaktfläche, COP)
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keinerlei Unterschiede in der Übernahmeleistung</li> <li>- Eyes on Road Rate signifikant höher bei 5min</li> <li>- HGD nimmt bei 30min zu</li> <li>- Pupillendurchmesser nimmt starker ab bei 30min</li> <li>- Änderung COP nimmt signifikant zu bei 30min</li> </ul>
Fazit aus Studie für Fragestellung 4:	<p>Mithilfe von Eye-Tracking und Sitzdruckmatten lassen sich signifikante Zustandsänderungen aufgrund längerer automatisierter Fahrten zeigen; die Probanden werden bei 30min Fahrt und keinen NDRT tendenziell unruhiger. Diese Effekte zeigen keinerlei Unterschiede in den nachfolgenden Übernahmesituationen.</p> <p>Eine erneute Auswertung der Übernahmeleistung, diesmal nicht nach Gruppen (5min vs. 30min) geteilt, sondern nach absoluter Fahrdauer geteilt, steht noch aus.</p>

AV	Fahrdauer	Automationslevel	Verkehrsdichte	Situationen
$a_{längs}$	$p = .435$	$p = .959$	$p = .075$	$p < .005$ ABKreuz zu anderen Situationen
$a_{quer}$	$p = .887$	$p = .210$	$p = .022$	$p < .001$ Unfall zu anderen Situationen
<b>TTC</b>	$p = .738$	$p = .025$	$p < .001$	(nur für Unfall berechnet)
<b>SDLP</b>	$p = .328$	$p = .131$	$p = .486$	(nur für Baustelle berechnet)
$t_{bew}$	$p = .376$	(nicht berechnet)	$p = .993$	$p < .005$ Baustelle zu anderen Situationen

Abbildung 116: Zusammenfassung der Ergebnisse der objektiven Parameter der Übernahmeleistung.

AV	Automationslevel	Verkehrsdichte	Fahrdauer
<b>Δ Eyes on Road Rate</b>	p = .265	p = .430	p = .170 (Automationslevel) p = .003 (Verkehrsdichte)
<b>Δ Horizontal Gaze Dispersion</b>	p = .006	p = .529	p = .044 (Automationslevel) p = .740 (Verkehrsdichte)
<b>Δ Blinzeldauer</b>	p = .449	p = .494	p = .597 (Automationslevel) p = .547 (Verkehrsdichte)
<b>Δ Pupillendurchmesser</b>	p = .395	p = .370	p = .114 (Automationslevel) p = .041 (Verkehrsdichte)
<b>Δ Average Pressure</b> - Rücken - Sitz	Rücken: p = .702 Sitz: p = .651	Rücken: p = .666 Sitz: p = .427	Rücken: p = .306 (Automationslevel) p = .863 (Verkehrsdichte) Sitz: p = .005 (Automationslevel) p = .185 (Verkehrsdichte)
<b>Δ Contact Area</b> - Rücken - Sitz	Rücken: p = .109 Sitz: p = .678	Rücken: p = .241 Sitz: p = .200	Rücken: p = .267 (Automationslevel) p = .691 (Verkehrsdichte) Sitz: p = .546 (Automationslevel) p = .223 (Verkehrsdichte)
<b>Δ Center of Pressure</b> - Rücken - Sitz	Rücken: p = .876 Sitz: p = .429	Rücken: p = .948 Sitz: p = .708	Rücken: p = .012 (Automationslevel) p = .002 (Verkehrsdichte) Sitz: p = .000 (Automationslevel) p = .001 (Verkehrsdichte)

Abbildung 117: Zusammenfassung der Ergebnisse der Fahrerzustandsänderungen.

### 3.3.2.1.13 Lehrstuhl für Ergonomie, TUM Versuch 2

#### 3.3.2.1.13.1 Fotodokumentation

Eine detaillierte Beschreibung des Versuchs wurde publiziert.<sup>12</sup>



Abbildung 118: Fahrszene mit Eye-Tracking Kamera und Button zur De-/Aktivierung der Automation.

<sup>12</sup> Radlmayr, J., Fischer, F. M., & Bengler, K. (2019). The Influence of Non-driving Related Tasks on Driver Availability in the Context of Conditionally Automated Driving. Paper presented at the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018), Florence.





Abbildung 119: Formenball und Surrogate Reference Task als fahrfremde Tätigkeiten.



Abbildung 120: Position der Eye-Tracking Kameras im Fahrzeug und Sitzdruckmatten.



Abbildung 121: Übernahmesituationen Unfall und Baustelle.

### 3.3.2.1.13.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Juni/Juli 2016
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Statischer Fahr Simulator des Lehrstuhls
Stichprobengröße:	53
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	24w, 29m, 18 – 78 Jahre, MW=31,7 Jahre (SD=15,6), 11 Personen mit Erfahrung HAF im Simulator, allerdings 6 davon nur einmal
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	3-spurige Autobahn, 120km/h Geschw. der Automation, Verkehrsdichte 20 Fzg./km, Dauer autom. Fahrt vor Übernahme circa 5min
Beschreibung Übernahmeszenario:	7s Zeitbudget vor der Übernahme, „Unfall“ sieht Fahrstreifenwechselmanöver vor, „Baustelle“ nur Stabilisierung
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Unfall (Prädizierbarkeit, Dringlichkeit, Kritikalität, Komplexität Reaktion): gering, mittel, hoch, hoch Baustelle (Prädizierbarkeit, Dringlichkeit, Kritikalität, Komplexität Reaktion): mittel, mittel, gering bis mittel, gering
Zeitbudget:	7s



Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Ausführlich. Nach einer theoretischen Erklärung von Level 3 Systemen wird in einer Einführungsfahrt sowohl Automation als auch Übernahme gezeigt.
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	Bei den 11 Personen mit HAF-Erfahrung im Simulator evtl. mehr.
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	circa 5min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung:	Akustisches „Doppelpiepen“, ca. 4kHz, visuelles Symbol
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Übersteuern am Lenkrad (>2°), Betätigen der Pedalerie (>10%) oder Drücken des „Automationsknopfs“ am Lenkrad
Systemverhalten nach TOR:	Aufrechterhalten des Systemverhaltens bis Deaktivierung HAF durch Fahrer

### 3.3.2.1.13.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Wie unterscheidet sich die Übernahmeleistung bei unterschiedlichen Situationen?
Unabhängige Variablen:	Within: Situation (Unfall, Baustelle)
Abhängige Variablen:	Bremsbeschleunigung, Querb beschleunigung, Beschleunigungspotential, SDLP, TTC, Zeit Blickzuwendung, Zeit bewusster Eingriff, Trajektorienverlauf Subjektiv: Kritikalität, Komplexität, Zeitbudget, Komfort
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Probanden signifikant schnellerer Eingriff in Sit. Unfall</li> <li>- TTC signifikant kleiner in Unfall</li> <li>- In der Baustelle treten signifikant stärkere Bremsungen auf</li> <li>- Querb beschleunigungen sind signifikant höher im Unfall</li> </ul>
Fazit aus Studie für Fragestellung 1:	Ergebnisse bestätigen bekannte Literatur und Ergebnisse aus Scherer: Situationen unterscheiden sich signifikant je nach Kritikalität, je kritischer die Situation, desto schneller reagieren die Probanden auch. Tendenziell ist der Unfall kritischer, stärkere Bremsungen in der Baustelle treten durch einsicherenden Fremdverkehr auf.
Fragestellung 2:	Wie unterscheidet sich die Übernahmeleistung und das Fahrerverhalten vor der Übernahme bei unterschiedlichen fahrfremden Tätigkeiten?
Unabhängige Variable:	Fahrfremde Tätigkeit (SuRT, n-Back, Formenball)
Abhängige Variablen:	Bremsbeschleunigung, Querb beschleunigung, Beschleunigungspotential, SDLP, TTC, Zeit Blickzuwendung, Zeit bewusster Eingriff, Trajektorienverlauf Subjektiv: Kritikalität, Komplexität, Zeitbudget, Komfort Zustand: Eye-Tracking (Eyes on Road, HGD, Lidschlagfrequenz), Sitzdruck (Durchschnittsdruck, Maximaldruck, Kontakfläche, COP)
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zeit bis Blickzuwendung bei SuRT signifikant höher, allerdings einzige Aufgabe mit Blickabwendung</li> <li>- Eyes on Road Rate bei SuRT signifikant geringer</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- HGD bei Aufgabe signifikant geändert, aber keine Unterschiede zwischen den Modalitäten</li> <li>- Signifikante Unterschiede der Lidschlagfrequenz zwischen den Aufgaben, bei SuRT geringer, bei n-Back höher</li> <li>- Signifikante Unterschiede bei mittlerem Druck, Kontaktfläche und COP für SuRT und motorischer Aufgabe</li> </ul>
Fazit aus Studie für Fragestellung 2:	Durch Eye-Tracking und Sitzdruckmatten lassen sich signifikante Unterschiede bezogen auf den Fahrerzustand messen; diese zeigen sich nicht in der Übernahmequalität
Fragestellung 3:	Wie unterscheidet sich die Übernahmeleistung und das Fahrerverhalten vor der Übernahme bei unterschiedlicher Instruktion?
Unabhängige Variable:	Instruktion (freie Wahl der fahrfremden Tätigkeit, vorgegebene Bearbeitung einer Aufgabe zu bestimmten Zeiten)
Abhängige Variablen:	Bremsbeschleunigung, Querbewegung, Beschleunigungspotential, SDLP, TTC, Zeit Blickzuwendung, Zeit bewusster Eingriff, Trajektorienverlauf Subjektiv: Kritikalität, Komplexität, Zeitbudget, Komfort Zustand: Eye-Tracking (Eyes on Road, HGD, Lidschlagfrequenz), Sitzdruck (Durchschnittsdruck, Maximaldruck, Kontaktfläche, COP)
Hauptergebnisse:	Keine Unterschiede aufgrund Instruktion bei Zeit bis Blickzuwendung, bewusster Eingriff, TTC, SDLP, und Beschleunigungen
Fazit aus Studie für Fragestellung 3:	Die meisten Probanden wollten alle Tätigkeiten ausprobieren, allerdings wurden kaum realistische Tätigkeiten abgebildet (sondern standardisierte bzgl. Modalität). Es zeigen sich keine Unterschiede in der Übernahmeleistung aufgrund der Instruktion. Aufnahme einer Tätigkeit ist mit Eye-Tracking und Sitzdruckmatten, siehe Fragestellung 2, gut detektierbar.

### 3.3.2.1.14 Lehrstuhl für Ergonomie, TUM Versuch 3

#### 3.3.2.1.14.1 Fotodokumentation

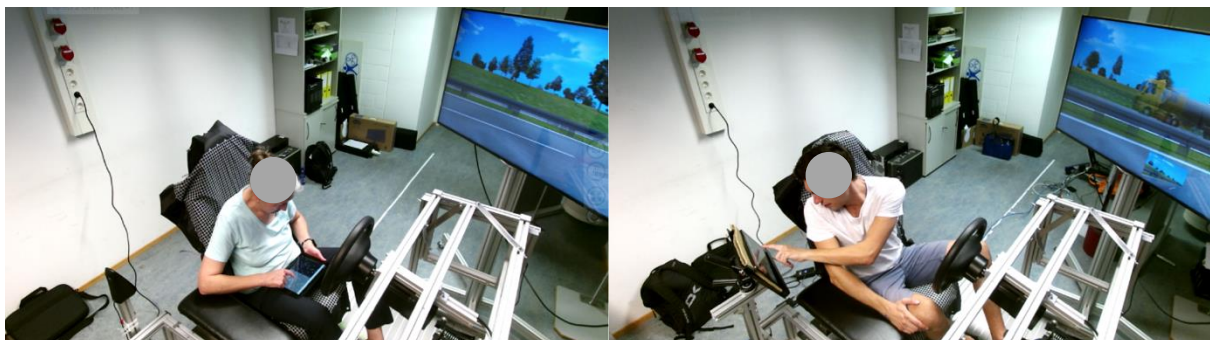


Abbildung 122: Darstellung der untersuchten Abwendungen: keine Abwendung (links) und maximale Abwendung (rechts).



Abbildung 123: Verwendete Sitzkiste des Lehrstuhls für Ergonomie und Darstellung des verwendeten Surrogate Reference Tasks (SuRT).

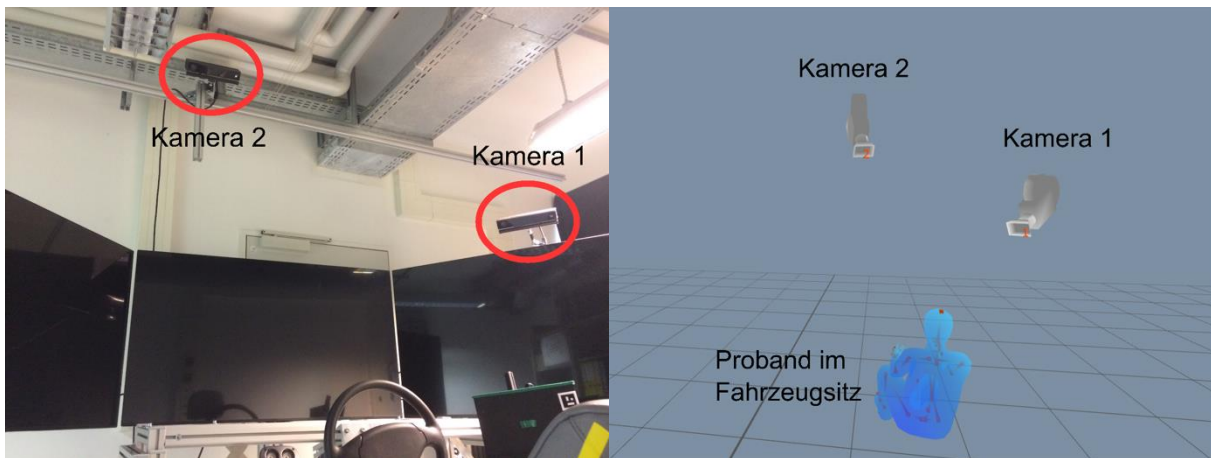


Abbildung 124: Reale Konfiguration der Kameras (links) und berechnete Position der Kameras (rechts).



Abbildung 125: Darstellung der beiden Situationen Unfall und Baustelle.

### 3.3.2.1.14.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Juli/August 2017
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Statische Sitzkiste des Lehrstuhls für Ergonomie
Stichprobengröße:	35 Probanden
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	7w, 28m, 18 – 59 Jahre, MW=28,43 Jahre (SD=9,73), 10 Personen mit Erfahrung HAF im Simulator, allerdings 7 davon nur einmal
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	3-spurige Autobahn, 120km/h Geschw. der Automation, Verkehrsdichte 0 Fzg./km, Dauer autom. Fahrt vor Übernahme circa 5min, monotone Streckenführung

Beschreibung Übernahmeszenario:	7s Zeitbudget vor der Übernahme, „Unfall“ sieht Fahrstreifenwechselmanöver vor, „Baustelle“ nur Stabilisierung
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Unfall (Prädizierbarkeit, Dringlichkeit, Kritikalität, Komplexität Reaktion): gering, mittel, hoch, hoch Baustelle (Prädizierbarkeit, Dringlichkeit, Kritikalität, Komplexität Reaktion): mittel, mittel, gering bis mittel, gering
Zeitbudget:	7s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Ausführlich. Nach einer theoretischen Erklärung von Level 3 Systemen wird in einer Einführungsfahrt sowohl Automation als auch Übernahme gezeigt
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	Bei den 10 Personen mit HAF-Erfahrung im Simulator evtl. mehr
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	circa 5min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung:	Akustisches „Doppelpiepen“, ca. 4kHz, visuelles Symbol
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Übersteuern am Lenkrad (>2°), Betätigen der Pedalerie (>10%) oder Drücken des „Automationsknopfs“ am Lenkrad
Systemverhalten nach TOR:	Abwurf des Systems bei Ausgabe TOR

### 3.3.2.1.14.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 2:	Wie unterscheidet sich die Übernahmeleistung und das Fahrerverhalten vor der Übernahme bei unterschiedlichen motorischen Abwendungen, konkret einem Verdrehen des Oberkörpers?
Unabhängige Variable:	Motorische Abwendung (keine, >90°)
Abhängige Variablen:	Bremsbeschleunigung, Querbeschleunigung, SDLP, TTC, Zeit bewusster Eingriff, Trajektorienverlauf Subjektiv: Kritikalität, Komplexität, Zeitbudget, Zustand: Motion Tracking (Position der Extremitäten), Sitzdruck (Durchschnittsdruck, Maximaldruck, Kontaktfläche, COP)
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Situationen unterscheiden sich signifikant hinsichtlich der minimalen negativen Längsbeschleunigung und der maximalen Querbeschleunigung zu Lasten der Situation Unfall, allerdings nicht hinsichtlich der TTC, der Zeit bis zum ersten bewussten Eingriff und der SDLP</li> <li>- Signifikante Unterschiede bei der prozentualen Änderung der Varianz des Mitteldrucks und der prozentualen Änderung der Varianz der Kontaktfläche in der Rückenlehne und des COP's in der Sitzfläche</li> </ul>
Fazit aus Studie für Fragestellung 2:	Es zeigen sich Unterschiede zwischen den Situationen, die bereits bekannte Ergebnisse aus vorherigen Studien bestätigen. Ein Unterschied in der Übernahmeleistung aufgrund der unterschiedlichen motorischen Abwendung ist allerdings nicht erkennbar.

Vor der Übernahme eignen sich die Sitzdruckmatten, um die Unterschiede im Fahrerzustand, speziell dem motorischen Zustand, bzw. der Haltung, gut messen zu können. Ein Motion Tracking unterstützt die Analyse des Zustands, ist allerdings als Methode kaum für den zukünftigen Serieneinsatz vorstellbar, da die Qualität in Relation zum Aufwand (2 Kameras und sehr aufwendige Datenverarbeitung) bescheiden ausfällt.

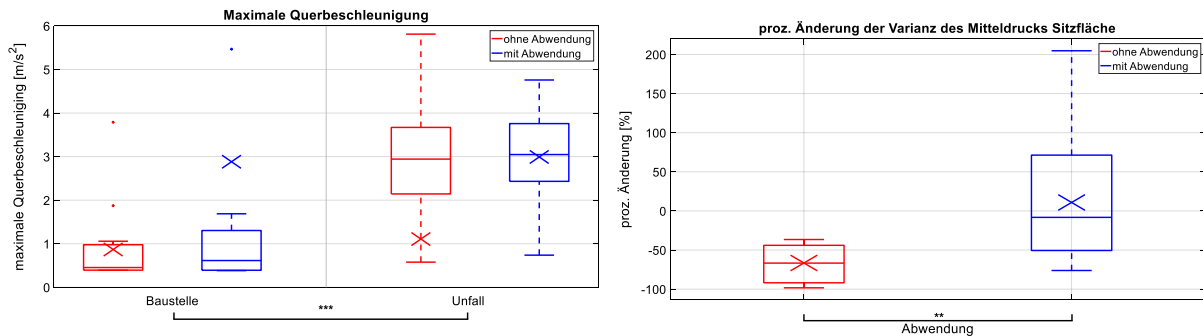


Abbildung 126: Links: Boxplot der maximalen Querbeschleunigung zwischen Übernahmeaufforderung und Systemgrenze ( $n_{\text{ohne}} = 15$ ,  $n_{\text{mit}} = 15$ ,  $*** p < 0,001$ ). Rechts: Boxplot der prozentualen Änderung der Varianz des Mitteldrucks in der Sitzfläche zwischen Zeitraum Baseline und Zeitraum 1 ( $n_{\text{ohne}} = 11$ ,  $n_{\text{mit}} = 15$ ,  $** p < 0,01$ ).

### 3.3.2.1.15 Lehrstuhl für Ergonomie, TUM Versuch 4

#### 3.3.2.1.15.1 Fotodokumentation

Eine detaillierte Beschreibung des Versuchs wurde publiziert.<sup>13</sup>



Abbildung 127: Fahrerszene mit Eye-Tracking Kamera und Semitransparentes Spiel im HUD.

<sup>13</sup> Radlmayr, J., Brüch, K., Schmidt, K., Solbeck, C., & Wehner, T. (2018). Peripheral Monitoring of Traffic in Conditionally Automated Driving. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 62(1), 1828-1832. doi:10.1177/1541931218621416.





Abbildung 128: Freeze Moment des SAGAT und Übernahme-Situation Baustelle.

### 3.3.2.1.15.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Januar 2017
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Statischer Fahrsimulator des Lehrstuhls
Stichprobengröße:	57
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	21w, 36m, MW=23,9 Jahre (SD=2,9), 26 Personen mit Erfahrung HAF im Simulator
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	3-spurige Autobahn, 120km/h Geschw. der Automation, Verkehrsdichte 20 Fzg./km, Dauer autom. Fahrt vor Übernahme circa 5min
Beschreibung Übernahmeszenario:	6s Zeitbudget vor der Übernahme, „Baustelle“ sieht nur Stabilisierung vor
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Baustelle (Prädizierbarkeit, Dringlichkeit, Kritikalität, Komplexität Reaktion): mittel, mittel, gering bis mittel, gering
Zeitbudget:	6s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Ausführlich. Nach einer theoretischen Erklärung von Level 3 Systemen wird in einer Einführungsfahrt sowohl Automation als auch Übernahme gezeigt.
Anzahl der erlebten Übernahmeauforderungen vor Versuchsbeginn:	15 Probanden 1-2, 5 Probanden 3-4, 6 Probanden 5 oder mehr
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	circa 5min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	Akustisches „Doppelpiepen“, ca. 4kHz, visuelles Symbol
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Übersteuern am Lenkrad (>2°), Betätigen der Pedalerie (>10%) oder Drücken des „Automationsknopfs“ am Lenkrad
Systemverhalten nach TOR:	Deaktivierung der Automation zum Zeitpunkt TOR, danach Schleppmoment und keine Querführung

### 3.3.2.1.15.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Wie unterscheidet sich die Übernahmeleistung und das Situationsbewusstsein vor der Übernahme bei unterschiedlicher Verkehrsraumüberwachung?
------------------	---



Unabhängige Variablen:	Art der Verkehrsraumüberwachung (Selbstbestimmt, peripher, keine)
Abhängige Variablen:	Bremsbeschleunigung, Querschleunigung, SDLP, TTC, Zeit bewusster Eingriff, Trajektorienverlauf SAGAT, SART Zustand: Eye-Tracking (Absicherungsblicke, HGD, Lidschlagfrequenz, HGD, Spiegelblicke), Sitzdruck (Auswertung folgt noch)
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Situationsbewusstsein (SAGAT) vor Übernahme signifikant besser bei selbstbestimmter Überwachung</li> <li>- HGD selbstbestimmt signifikant höher als peripher bzw. keine Überwachung</li> <li>- Lidschlagfrequenz selbstbestimmt signifikant höher als peripher bzw. keine Überwachung</li> <li>- SART bei keiner Überwachung signifikant besser als peripher, allerdings nicht selbstbestimmt.</li> <li>- Keine signifikanten Unterschiede in der Übernahme bzgl. Zeit bis bew. Eingriff, TTC, Querschleunigung</li> <li>- Signifikante Unterschiede zwischen keine Überwachung für Längsbeschleunigung (stärkere Bremsungen) und SDLP (höher)</li> </ul>
Fazit aus Studie für Fragestellung 1:	<p>SAGAT zeigt Unterschiede vor Übernahme, Eye-Tracking Metriken ebenfalls.</p> <p>In der Übernahme nur signifikante Unterschiede bei Bremsungen und SDLP, diese sind allerdings auf einen Schreckmoment zurückzuführen: die Gruppe keine Überwachung fuhr automatisierte durch enorm dichten Nebel, der sich vor der Übernahme schlagartig auflöste. Dieser Schreck führte zu stärkeren Bremsungen und einer höheren SDLP</p>

### 3.3.2.1.16 Opel Versuch 1

#### 3.3.2.1.16.1 Fotodokumentation

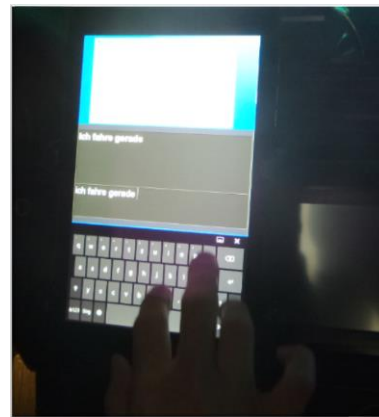


Abbildung 130: Simulatorsetting mit HMI-Anzeigeelementen und Fahrfremder Tätigkeit (Tablet in Halterung).

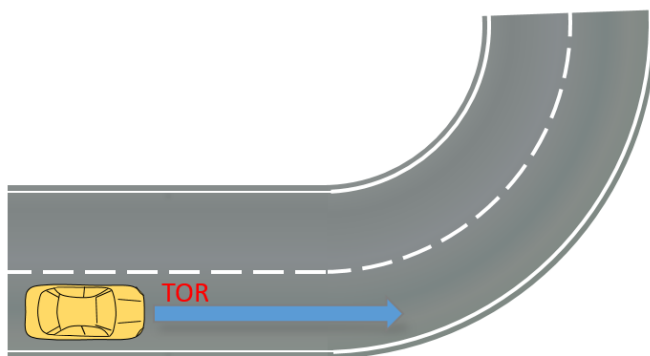


Abbildung 129: Prüfszenario: Übernahmeaufforderung vor Kurve (TLC = 8 sec.)

#### 3.3.2.1.16.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Dezember 2015
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Dynamischer Fahrsimulator
Stichprobengröße:	20
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	Altersspanne 20 – 44 Jahre (M = 27,6, SD = 6,2) Gleich viele Frauen und Männer
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	zweispurige Autobahn, Tempolimit 120 km/h, mittlere Verkehrsdichte
Beschreibung Übernahmeszenario:	„Sensorausfall“ vor Linkskurve
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Präzifizierbarkeit: hoch vs. niedrig (exp. Faktor) Dringlichkeit: mittel Kritikalität: mittel Komplexität: niedrig
Zeitbudget:	8s Time to Line Crossing

Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Systemerklärung (Anzeigen / Bedienung) und Einföhrungsfahrt
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	Eine unkritische Übernahmeaufforderung bei Einföhrungsfahrt
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	jeweils ca. 6min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung:	Akustisch: Dringlicher Warnton ähnlich Kollisionswarnung Visuell: Systemicon im Kombidisplay wechselt von grün nach rot. Zusätzlich Text „Automation endet – Fahrzeugkontrolle übernehmen“
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Lenkradtaste (wie auch beim Aktivieren) Bremsen Lenkeingriff (Übersteuern)
Systemverhalten nach TOR:	Längs- und Querführung weiter aktiv bis zum Erreichen der Systemgrenze

### 3.3.2.1.16.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Selbstregulation beim Umgang mit FFTs  An definierten Streckenpunkten wurde FFT (Texteingabe auf Tablet in Halterung) angeboten, Probanden konnten sie annehmen oder ablehnen
Unabhängige Variablen:	Betweenfaktor: Basic HMI vs. Predictive HMI (Vorschau über bevorstehende Übernahmesituationen)
Abhängige Variablen:	Anzahl bearbeiteter Aufgaben im HAF und während manueller Fahrt
Hauptergebnisse:	Während der hochautomatisierten Fahrt wurden mehr FFTs bearbeitet als in der manuellen Fahrt. Mit Vorausschau wurden vor Übernahmesituationen weniger FFTs begonnen (aber: interindividuelle Unterschiede). Beendigung von einmal begonnenen Aufgaben fiel Probanden hingegen schwer.
Fazit aus Studie für Fragestellung 1	Probanden nutzten die Informationen des prädiktiven HMI für den Umgang mit FFTs. Weiterer Unterstützungsbedarf bestand beim Beenden von einmal begonnenen Aufgaben in Übernahmesituationen.
Fragestellung 2:	Einfluss der FFT (Texteingabe auf Tablet in Halterung) auf die Übernahmeleistung
Unabhängige Variable:	mit FFT vs. ohne FFT (post-hoc Zuordnung, s.o.)
Abhängige Variablen:	Übernahmezeiten und -qualität (Querführung)
Hauptergebnisse:	Hands on: mit FFT: M = 1,29s (SD = 0,57). Ohne FFT: 1,32 (0,34)  Einlenken in Kurve (Beginn Manöver): mit FFT: M = 4,28s (SD = 0,80). Ohne FFT: 3,70 (0,71)
Fazit aus Studie für Fragestellung 2:	Bei der ersten motorischen Reaktion (Hände wieder am Lenkrad) zeigte sich kein Unterschied mit und ohne FFT.

Allerdings war die erste Fahrreaktion, das Einlenken in die Kurve unter Ablenkung verzögert und die Spurhalte-güte (SDLP) signifikant beeinträchtigt.

### 3.3.2.1.17 Opel Versuch 2

#### 3.3.2.1.17.1 Fotodokumentation



Abbildung 131: Übernahmesituation: Unfallwagen auf Ego-Spur (TTC = 6s) und Fahrfremde Tätigkeit (Visuell-manuell in Halterung).

#### 3.3.2.1.17.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	August / September 2016
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Dynamischer Fahrsimulator
Stichprobengröße:	30
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	Alter: M = 29,17 (SD = 6,38); 15 Frauen
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	zweispurige Autobahn, Tempolimit 120km/h, mittlere Verkehrsdichte
Beschreibung Übernahmeszenario:	Unfallwagen auf Ego-Spur (kein Ausweichen möglich, Bremsengriff erforderlich)
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Prädizierbarkeit: niedrig Dringlichkeit: hoch Kritikalität: hoch Komplexität: mittel
Zeitbudget:	6s (TTC)
Art/Umfang der HAF-Struktur:	Systemerklärung (Anzeigen / Bedienung) und Einführungsfahrt
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	Eine unkritische Übernahmeaufforderung bei Einführungsfahrt

Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	Jeweils ca. 10min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	Akustisch: Dringlicher Warnton ähnlich Kollisionswarnung Visuell: Systemicon im Kombidisplay wechselt von grün nach rot. Zusätzlich Text „Automation endet – Fahrzeugkontrolle übernehmen“ In Bedingung „Lockout“ zusätzliche Abschaltung der FFT und Anzeige des TOR auf Tablet
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Lenkradtaste (wie auch beim Aktivieren) Bremsen Lenkeingriff (Übersteuern)
Systemverhalten nach TOR:	Längs- und Querführung weiter aktiv bis zum Erreichen der Systemgrenze

### 3.3.2.1.17.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Einfluss verschiedener FFTs auf Übernahmeleistung
Unabhängige Variablen:	Within: Art der FFT (Manipulation der Aufgabenmodalitäten) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Baseline (keine FFT)</li> <li>- Auditiv-vokale FFT (Text hören und nachsprechen)</li> <li>- Visuell-vokale FFT (Text lesen und vorlesen: Tablet in Halterung)</li> <li>- Visuell-manuelle FFT (Text lesen und schreiben: Tablet in Halterung)</li> <li>- Visuell-manuelle FFT (Text lesen und schreiben: Tablet in der Hand)</li> </ul>
Abhängige Variablen:	Übernahmeleistung (Zeiten und Qualität)
Hauptergebnisse:	Signifikante Haupteffekte der Aufgabenmodalitäten:  Hands on: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ohne FFT: M = 1,09 (SD = 0,40)</li> <li>- Auditiv-vokal: 1,22 (0,33)</li> <li>- Visuell-vokal: 1,35 (0,43)</li> <li>- Visuell-manuell: 1,33 (0,43)</li> <li>- Visuell-manuell (handheld): 1,78 (0,59)</li> </ul> Übernahme (Bremseingriff): <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ohne FFT: M = 1,77 (SD = 0,59)</li> <li>- Auditiv-vokal: 1,80 (0,61)</li> <li>- Visuell-vokal: 1,93 (0,80)</li> <li>- Visuell-manuell: 2,20 (0,90)</li> <li>- Visuell-manuell (handheld): 2,25 (0,91)</li> </ul>
Fazit aus Studie für Fragestellung 1	Signifikanter Einfluss der Aufgabenmodalitäten auf die Übernahmeleistung. Die visuell-manuelle Aufgabe (Tablet in der Hand) hebt sich als besonders beeinträchtigend ab. Hier traten auch die meisten Kollisionen auf.
Fragestellung 2:	Effekte des Aufgabenlockouts auf die Übernahmeleistung
Unabhängige Variable:	Aufgabenlockout bei TOR: mit vs. ohne (Between-Faktor) Nur relevant für FFTs mit visuellem Anteil
Abhängige Variablen:	Übernahmeleistung (Zeiten und Qualität)
Hauptergebnisse:	Der Aufgaben-Lockout führte zu schnelleren Hands-On Zeiten, keine Unterschiede für Bremsreaktionszeiten

---

Fazit aus Studie für  
Fragestellung 2:

Der Aufgabenlockout konnte die erste Fahrerreaktion beschleunigen. Die eigentliche Übernahmezeit wurde jedoch nicht zwangsläufig kürzer.

---

### 3.3.2.1.18 Opel Versuch 3

#### 3.3.2.1.18.1 Fotodokumentation



Abbildung 132: Übernahmesituation: Unfallwagen auf Ego-Spur (TTC = 6 vs. 8s).

#### 3.3.2.1.18.2 Studien-/Systemdesign

---

Zeitraum der Studiendurchführung:	April / Mai 2017
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände))	Dynamischer Fahrsimulator
Stichprobengröße:	14
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	Alter: M = 32,0 Jahre (SD = 10,60), 5 Frauen
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	zweispurige Autobahn, Tempolimit 120km/h, mittlere Verkehrsdichte
Beschreibung Übernahmeszenario:	Unfallwagen auf Ego-Spur (kein Ausweichen möglich, Bremsengriff erforderlich)
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Prädizierbarkeit: niedrig Dringlichkeit: hoch Kritikalität: hoch Komplexität: mittel
Zeitbudget:	6s (TTC) vs. 8s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Systemerklärung (Anzeigen / Bedienung) und Einführungsfahrt
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	Eine unkritische Übernahmeaufforderung bei Einführungsfahrt
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	Jeweils ca. 10min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	Akustisch: Dringlicher Warnton ähnlich Kollisionswarnung

---



	Visuell: Systemicon im Kombidisplay wechselt von grün nach rot. Zusätzlich Text „Automation endet – Fahrzeugkontrolle übernehmen“
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Lenkradtaste (wie auch beim Aktivieren) Bremsen Lenkeingriff (Übersteuern)
Systemverhalten nach TOR:	Längs- und Querverführung weiter aktiv bis zum Erreichen der Systemgrenze

### 3.3.2.1.18.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Einfluss verschiedener FFTs auf Übernahmeleistung
Unabhängige Variablen:	<p>Within: Art der FFT (Manipulation der Aufgabenmodalitäten und Cognitive Workload)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auditiv-vokale FFT (Sätze nachsprechen)</li> <li>- Visuell-manuelle FFT (Tablet handheld: Sätze wortgetreu abtippen)</li> <li>- Visuell-manuelle FFT „High Workload“ (Tablet handheld: „Alphabetisieren“, d.h. Buchstaben alphabetisch sortiert eintippen)</li> </ul>
Abhängige Variablen:	Übernahmeleistung (Zeiten und Qualität)
Hauptergebnisse:	<p>Kombinierte Ergebnisse für beide Zeitbudgets (da keine signifikanten Unterschiede)</p> <p>Hands on (Signifikanter Haupteffekt):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auditiv-vokal: M = 1,35 s (SD = 0,31)</li> <li>- Visuell-manuell: 1,93 (0,69)</li> <li>- Visuell-manuell (high Workload): 1,86 (0,59)</li> </ul> <p>Übernahmezeit (Bremseneingriff, Haupteffekt marginal signifikant):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auditiv-vokal: 2,04 (0,53)</li> <li>- Visuell-manuell: 2,24 (0,88)</li> <li>- Visuell-manuell (high Workload): 2,53 (0,93)</li> </ul>
Fazit aus Studie für Fragestellung 1:	<p>Für die Hands-On-Zeiten waren v.a. die Modalitäten ausschlaggebend. Die starke motorische Beanspruchung der visuell-manuellen Aufgabe führte zu signifikant längeren Hands-On-Zeiten im Vergleich zur auditiv-vokalen Aufgabe. Die kognitive Beanspruchung führte hingegen zu keiner weiteren Verlangsamung der Hands-On-Reaktion. Bei der eigentlichen Übernahmezeit (hier: Zeit bis Bremseneingriff) zeigte sich die Tendenz, dass neben der visuell-manuellen auch die kognitive Beanspruchung zu längeren Reaktionszeiten führte.</p>
Fragestellung 2:	Einfluss des Zeitbudgets auf die Übernahmeleistung
Unabhängige Variable:	Within: Zeitbudget 6s (TTC) vs. 8s
Abhängige Variablen:	Übernahmeleistung (Zeiten, Qualität)
Hauptergebnisse:	Keine Unterschiede in den Hands-On- und Übernahmezeiten.

Die 6-Sekunden-Bedingung wird allerdings subjektiv kritischer eingeschätzt und die Probanden verzögern signifikant stärker als in der 8-Sekunden-Bedingung.

Fazit aus Studie für Fragestellung 2:

Effekte der unterschiedlichen FFTs (Fragestellung 1) ließen sich bei beiden Zeitbudgets nachweisen. Es zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Zeitbudgets bezüglich Übernahmezeiten, aber hinsichtlich subjektiver Maße und Aspekten der Übernahmequalität.

### 3.3.2.1.19 Daimler Versuch 1 – Ko-HAF Vorstudie: Einfluss fahrfremden Tätigkeiten auf das Übernahmeverhalten

#### 3.3.2.1.19.1 Fotodokumentation



Abbildung 133: Links: Mercedes-Benz Fahrsimulator. Rechts: Ansicht innerhalb der Simulatorzelle.



Abbildung 134: Links: Übernahmeaufforderung im Kombi-Instrument. Rechts: Fahrer während der Ausübung einer fahrfremden Tätigkeit.

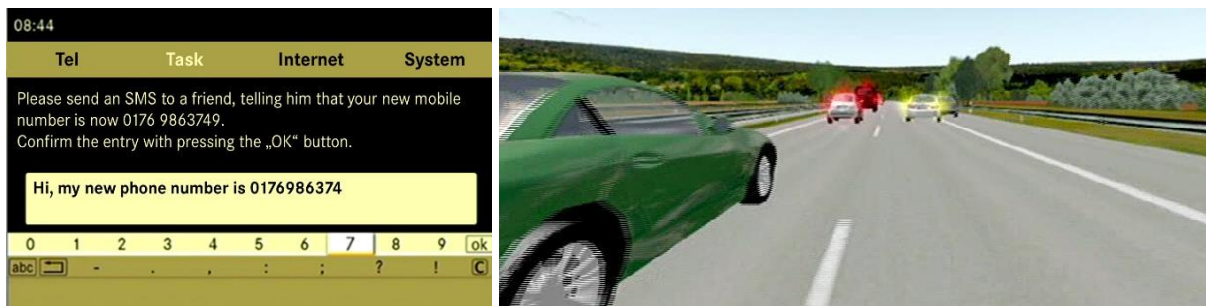


Abbildung 135: Links: Multimedia-Menü in dem die fahrfremden Tätigkeiten während der automatisierten Fahrt präsentiert wurden. Rechts: kritische Übernahmesituation aufgrund eines liegengebliebenen Fahrzeugs in der eigenen Spur.

### 3.3.2.1.19.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	2014 (Studiendesign auf Basis der VHB vom Dez. 2013)
Methode (Fahrstim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Fahrstimulator (Moving Base)
Stichprobengröße:	89
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	breites Bildungs- und Altersspektrum, möglichst Erfahrung mit ACC
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	Länge ca. 56km, Fahrtdauer ca. 28min, 2-spurige Autobahn, EGO Fahrzeug Geschwindigkeit maximal 130km/h ausschließlich auf der rechten Spur, für den Fall eines langsameren Vorfahrers mit 120km/h vor und während der Übernahmesituationen in den Abstandsstufen von 2,5s, 3,0s oder 3,5s je nach experimenteller Bedingung. Verkehrsdichte: ca. 5 FZG / min, Fremdfahrzeuge überholen das EGO FZG mit einer Differenzgeschwindigkeit von ca. + 10km/h.
Beschreibung Übernahmeszenario:	<p>Szenario 1: Übungs-Szenario: (nach 11min Fahrzeit) EGO Spur wird durch eine Baustelle blockiert, vorausfahrender SUV wechselt die Spur nach links,</p> <p>Szenario 2: Übungs-Szenario: (nach 19min Fahrzeit) EGO Spur wird durch Baustellenschild blockiert (beide Übungs-Szenarien dienten der Eingewöhnung und gingen nicht in die Auswertung ein.</p> <p>Szenario 3: Testszenario: (nach 26min Fahrzeit bzw. 7min nach dem letzten Übungsszenario) EGO Spur wird durch Liegenbleiber blockiert. Der vorausfahrende SUV wechselte erst kurz vor dem Liegenbleiber auf die linke Spur (Abstand vom Liegenbleiber 50m, d.h. 1,5s), das EGO Fahrzeug reagiert sofort nach dem SUV Fahrstreifenwechsel mit einem Schlepptomoment von 2.5m/s und je nach experimenteller Bedingung ergaben sich dann Zeitfenster von 4.9s, 5,7s oder 6,6s für den Fahrer, um zu reagieren. Gleichzeitig wurde die linke Spur neben dem EGO Fahrzeug durch eine Reihe von nachfolgenden Fahrzeugen blockiert, sodass ein Ausweichen nach links nicht möglich war, ohne zu kollidieren. Dieses Design wurde einer kritischen Notsituation nachempfunden. Zudem wurden insbesondere der Notbremsassistent sowie alle anderen Assistenzsysteme ausgeschaltet.</p>
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	<p>Szenario 1: gering, nur zur Eingewöhnung</p> <p>Szenario 2: mittel, nur zur Eingewöhnung</p> <p>Szenario 3: hoch (Testsituation)</p>
Zeitbudget:	<p>Szenario 1: Zeitbudget 12s</p> <p>Szenario 2: Zeitbudget 12s</p> <p>Szenario 3: Zeitbudget je nach Probandengruppe: 4,9s, 5,7s, oder 6,6s erfordert Längseingriff, Quereingriff führt zur Kollision</p>
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Ausführliche Erklärung der HAF-Funktionalität vor Fahrtbeginn (Funktionsumfang, Anzeige-/Bedienkonzept, Fahrerrolle). Einschalten der HAF Funktion erfolgte über einen Hebel links vom Lenkrad (ACC Hebel) und wurde am Anfang der Fahrt trainiert ebenso wie das manuelle

	Fahren in einer Übernahmesituation aus dem automatisierten in den manuellen Modus. Die Nebenaufgaben wurden in derselben Reihenfolge für alle Probanden durchgeführt, es gab für die Durchführung kein Zeitlimit. Die Schwierigkeit der Nebenaufgaben wurde nicht erhoben. Es wurde aber sichergestellt, dass alle Probanden eine für die Gruppe vorgesehene Nebenaufgabe vor der betrachteten Übernahmesituation 3 bearbeiteten
Anzahl der erlebten Übernahmauforderungen vor Versuchsbeginn:	Zwei Übungssituationen, eine Testsituation (die dritte und letzte)
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	Szene 1: 11min, Szene 2: 19min, Szene 3: 26min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung:	Akustisch (aufdringlicher Doppelpiep) und visuell (Grafik: rotes Lenkrad mit zwei umfassenden Händen wurde gleichzeitig mit der akustischen Warnung auf der Headunit angezeigt, dabei wurde die Nebenaufgabe vollständig überblendet)
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Bedienung der Pedalerie (Gas oder Bremse um mehr als 10% des Pedalweges) oder lenken (Lenkwinkelbeschleunigung größer 5 Grad / s <sup>2</sup> )
Systemverhalten nach TOR:	Geschwindigkeitsreduktion durch Schleppmoment
<b>3.3.2.1.19.3 Fragestellungen und Ergebnisse</b>	
Fragestellung 1:	a) Wie teilen Fahrer ihre visuelle Aufmerksamkeit zwischen Überwachung der Fahraufgabe beim automatisierten Fahren und ihrem Engagement in die Nebenaufgabe auf? b) Welche Blickparameter geben eine Aussage über die Effizienz der Überwachungsaufgabe? c) Wie beeinflussend sind Blickverhalten auf die Qualität und die Reaktionszeiten bei der Übernahme der Fahraufgabe durch den Fahrer?
Unabhängige Variablen:	Art und Schwierigkeit der Nebenaufgabe (Within-Faktor) Texting und Internet Suche während der betrachteten Situation Eingaben wurden über den Dreh-Drück-Steller vorgenommen
Abhängige Variablen:	Subjektiv: Bewertung von Kritikalität Objektiv: Reaktionszeiten und Parameter der Fahrgüte Blickverhalten 60s vor und während der betrachteten Situation (Video-Labeling)
Hauptergebnisse:	Die Datenanalyse zeigt: Das Kontrollblickverhalten während der 60s vor der Übernahmesituation hat zwar einen Einfluss auf die Übernahmezeit und die Übernahmequalität, allerdings ist der Einfluss praktisch irrelevant, weil die Übernahmezeit kleiner als 3s ist. Hier wird vorausgesetzt, dass das HAF-System mindestens diese drei Sekunden überbrücken kann und das Fahrzeug sicher steuert.
Fazit aus Studie	Ein möglicher Einflussfaktor auf das Blickverhalten ist die Art der ausgeführten Nebentätigkeit: Das Blickverhalten

der Fahrer wird dabei auch von der Art der Nebentätigkeit beeinflusst.

Die unter Studienbedingungen beobachteten Probandenblicke zeigen, dass das Erfassen der Verkehrssituation umso anspruchsvoller wird, je länger sich der Proband vom Fahrgeschehen abwendet. Die Datenanalyse hat gezeigt, dass es Unterschiede aufgrund des Blickverhaltens gab. Bei regelmäßiger Kontrolle der Fahrumgebung muss lediglich eine kognitive Reorientierung vorgenommen werden, womit eine schnelle und adäquate Übernahme begünstigt wird. Zwar hat das Kontrollblickverhalten während der 60s vor der Übernahmesituation einen Einfluss auf die Übernahmezeit und die Übernahmequalität, allerdings ist der Einfluss praktisch irrelevant, da die Übernahmezeit, trotz Reorientierung, kleiner als 3s bleibt. Hier wird vorausgesetzt, dass das HAF-System mindestens diese Zeit überbrücken kann und das Fahrzeug sicher steuert.

Details zur o.g. Studie siehe folgende Publikationen<sup>1415</sup>. Die Darstellung der Datenanalysen (Abbildung 136, Abbildung 137) ist entnommen aus diesen Artikeln.

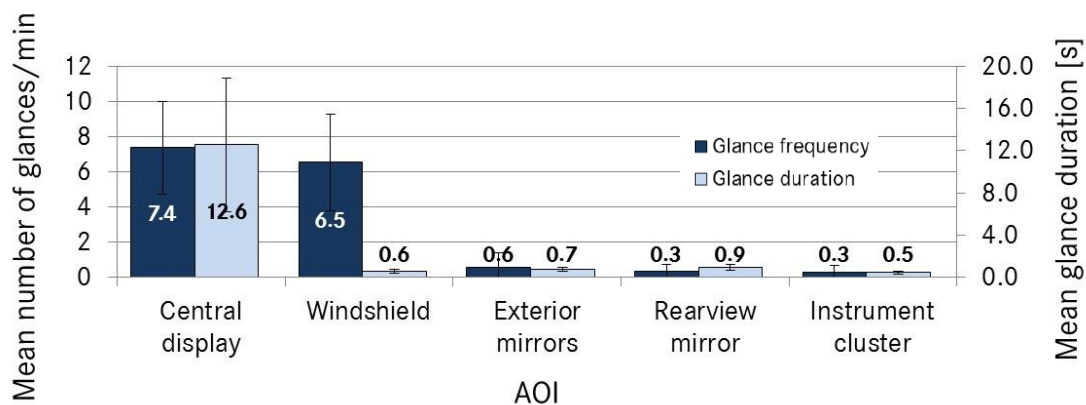


Abbildung 136: Kontrollblickverhalten während der 60s vor der HAF-Übernahmesituation im Fahrsimulator: durchschnittliche Häufigkeit der Kontrollblicke (Glance frequency) in 60s und der Blicklänge (Glance duration) – Häufigkeit der Kontrollblicke für n = 89 Probanden für alle AOIs (Areas of Interest). Blicklänge für die gespeicherte Blicke für jede AOI: n\_central display = 89, n\_windshield = 82, n\_exterior mirrors = 18, n\_rearview mirror = 18, n\_instrument cluster = 17. „Central Display“ stellt ein Bildschirm (integriert in der Mittelkonsole des Fahrzeugs, nah am Front-Schutzscheibe), wo die fahrfremden Tätigkeiten ausgeführt werden.

<sup>14</sup> Zeeb, K & Schrauf, M (2014), Re- vs. Neuorientierung Situationsgerechtes Blickverhalten beim hochautomatisierten Fahren. 15. AAET Symposium DLR Braunschweig, pp69-86.

<sup>15</sup> Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2015). What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving. Accident Analysis & Prevention, 78, 212-221.

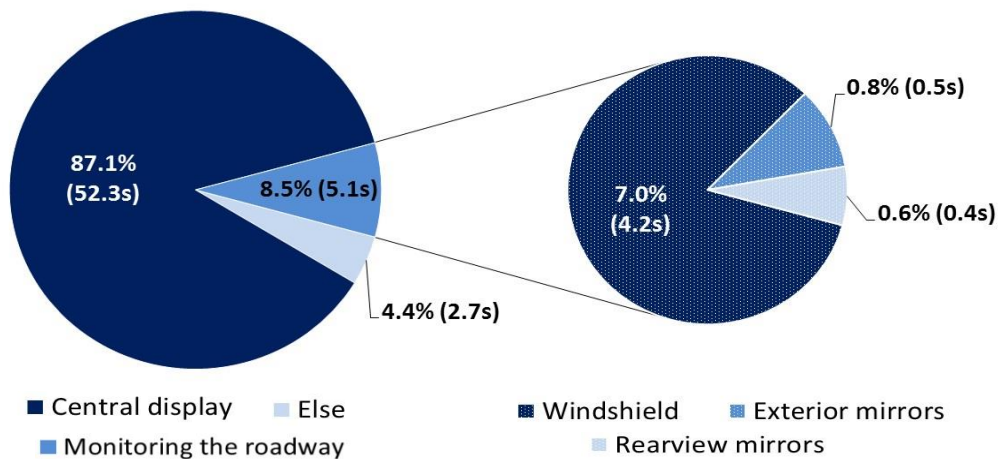


Abbildung 137: Gesamte durchschnittliche Blicklänge (% und s) per 60s automatisierten Fahrt Level 3 für verschiedene AOIs (n = 89).

### 3.3.2.1.20 Daimler Versuch 2 – Einfluss fahrfremder Tätigkeiten auf die Übernahmezeit und / oder auf die Übernahmequalität

#### 3.3.2.1.20.1 Fotodokumentation



Abbildung 138: Links: Mercedes-Benz Fahrsimulator. Mitte: Ansicht innerhalb der Simulatorzelle. Rechts: Ansicht des Fahrzeuginnenraums mit Display für die fahrfremde Tätigkeit.

Systemzustand	Beschreibung	System Status Display
Nicht verfügbar (not available)	Aufforderungen für längs und/oder quer Regelung sind nicht gegeben	
Verfügbar (available)	Aufforderung für längs und/oder quer Regelung sind gegeben. System ist noch nicht aktive, aber es kann aktiviert werden durch den Probanden/Fahrer.	
Aktiviert (activated)	System ist aktiv und regelt längs und quer die Fahrzeugführung	



Übernahmeaufforderung  
(take-over request  
TOR)

Aktiviertes System hat eine Systemgrenze erkannt und fordert den Probanden/Fahrer zur Übernahme. System wird deaktiviert entweder durch den Probanden/Fahrer oder mittels Probandengriff oder automatisch nach Ende des Zeitbudgets.



Tabelle 6: Übersicht: Darstellung der Systemzustände mit Systemstatus Display.

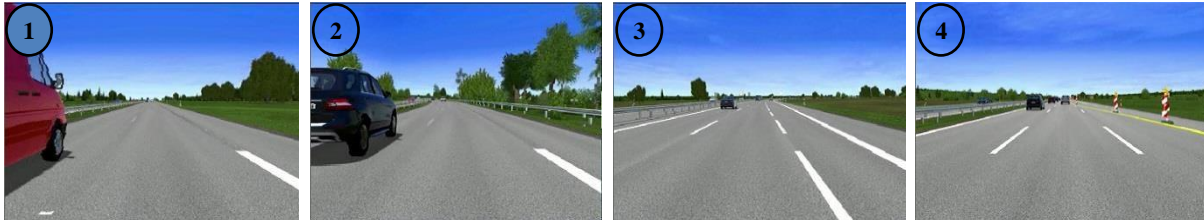


Abbildung 139: Übersicht der vier Übernahmesituationen während des Versuchs:

- (1) fehlende Spurmarkierungen auf gerade Straßenabschnitt
- (2) fehlende Spurmarkierungen auf leicht gekrümmte Straßenabschnitt mit seitlichen Wind
- (3) extra Spur
- (4) blockierte EGO-Spur

### 3.3.2.1.20.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	2015
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Fahrsimulator (Moving Base)
Stichprobengröße:	79
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	Keine Brillenträger (interferiert mit DIKABLIS Eyetracker), breites Bildungs- und Altersspektrum
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	Länge 60km, Geschwindigkeit 120km/h, Dauer ca. 30min, 3-spurige Autobahn, EGO FZG befährt ausschließlich rechte Spur, Verkehrsdichte: ca. 5-8 FZG / min, Fremdfahrzeuge überholen das EGO FZG mit einer Differenzgeschwindigkeit von ca. + 10 – 15km/h.
Beschreibung Übernahmeszenario:	Szenario 1: Spurmarkierung fehlt auf gerader Strecke mit Übernahmeaufforderung Szenario 2: Seitenwind von rechts in einer Linkskurve ohne Spurmarkierung mit Übernahmeaufforderung Szenario 3: Zusätzliche dritte Spur auf der rechten Seite, Fahrer muss Spurwechsel von mittlerer Spur auf die rechte Spur vornehmen nach Übernahmeaufforderung Szenario 4: Spurreduktion durch Baustelle von drei auf zwei Spuren (die rechte EGO-Spur endet, sodass der Fahrer nach Übernahmeaufforderung auf die nächstliegende linke Spur wechseln muss), gleichzeitig reduziert das FZG seine Geschwindigkeit automatisch von 120km/h auf 80km/h
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Szenario 1: gering, nur zur Eingewöhnung Szenario 2: gering Szenario 3: gering Szenario 4: mittel

Zeitbudget:	Szenario 1: kein Zeitbudget Szenario 2: 4s erfordert Quereingriff Szenario 3: kein Zeitbudget Szenario 4: 2,5 s erfordert Quereingriff
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Ausführliche Erklärung der HAF-Funktionalität vor Fahrtbeginn (Funktionsumfang, Anzeige-/Bedienkonzept, Fahrerrolle). Ein- / Ausschalten der HAF-Funktion wurde am Anfang der Fahrt trainiert ebenso wie das manuelle Fahren in einer Übernahme-situation aus dem automatisierten in den manuellen Modus.
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	1
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	Szene 1: 4:30min, Szene 2: 11:30min, Szene 3: 3:30min Szene 4: 11:00min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung:	Akustisch (aufdringlicher Doppelpiep) und visuell (Grafik: rotes Lenkrad mit zwei umfassenden Händen und der Unterschrift „übernehmen“ wurde gleichzeitig mit der akustischen Warnung sowohl auf dem Statusdisplay als auch auf dem Tablet angezeigt, dabei wurde die Nebenaufgabe auf dem Tablet vollständig überblendet)
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Bedienung der Pedalerie (Gas oder Bremse um mehr als 10% des Pedalweges) oder Lenken (Lenkwinkelbeschleunigung größer 5 Grad / s <sup>2</sup> )
Systemverhalten nach TOR:	Geschwindigkeitsreduktion durch Schleppmoment

### 3.3.2.1.20.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Welchen Einfluss haben verschiedene Arten von fahrfremden Tätigkeiten auf die Übernahmezeit und / oder auf die Übernahmequalität im Allgemeinen und gibt es einen Zusammenhang zwischen Übernahmezeit und -qualität?
Unabhängige Variablen:	Art und Schwierigkeit der Nebenaufgabe (Within-Faktor) E-Mail schreiben während der betrachteten Situationen Nachrichtentext lesen während der betrachteten Situationen Video schauen während der betrachteten Situationen Kontrollgruppe (Fahrsituation beobachten, keine FFT) Anm.: Texte und Videos wurden auf einem in das HMI-Konzept integrierten Windows Tablet (ca. 15“) dargestellt. Textpassagen mussten per Touchscreen weitergeblättert werden, Videos waren auf dem Touchscreen steuerbar. Die Aufgaben und die Szenen wurden zwischen den Probandengruppen ausbalanciert.
Abhängige Variablen:	Subjektiv: Bewertung von Kritikalität und eigener Performance Objektiv: Reaktionszeiten und Parameter der Fahrgüte Blickverhalten während der drei betrachteten Situationen (VideoLabeling)
Hauptergebnisse:	Siehe Grafiken: Abbildung 140- Abbildung 143.

Fazit aus Studie für Fragestellung 1:

Es gab keinen nennenswerten Einfluss der fahrfremden Tätigkeit (FFT) auf das Übernahmeverhalten. D.h. die Reaktionszeiten (Abbildung 140) für „Eyes-on-Road“ (ca. 1s) und „Hands-on-steering wheel“ (<2s) sind bei den unterschiedlichen FFT vergleichbar. Die beobachteten Übernahme-Reaktionszeiten („system deactivation – driver intervention only“) liegen bei / unter 3s. Die tatsächliche Abweichung von Spurmitte (<30-50cm) verbleibt innerhalb der Spurbreite (Abbildung 141). Das Beispiel „Video schauen“ zeigt aber auch, dass die Probanden am längsten zum aktiven Eingreifen (intervention) benötigen, obwohl sie im Mittel am schnellsten ihre Hände am Lenkrad hatten. Auch ihre Übernahmequalität („deviation from lane center“) war am schlechtesten, obwohl sie immer noch innerhalb der Spurbreite waren. Fazit: Die Frage: „Is take over time all that matters?“ muss hier mit „no“ beantwortet werden.

Eine weitere Erkenntnis aus dieser Studie war, dass ACC Novizen nach ca. 30min Fahrt so gut reagierten wie ACC Erfahrene Probanden (Abbildung 142). (Details zur o.g. Studie siehe folgende Publikation<sup>16</sup>). Die Darstellung der Datenanalysen (Abbildung 140 - Abbildung 143) ist entnommen aus dieser Publikation.

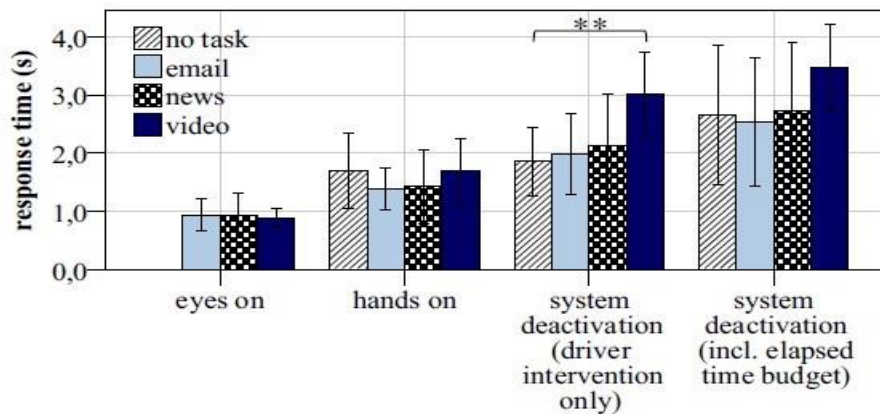


Abbildung 140: Reaktionszeit in Übernahmesituation 2 für die vier Probandengruppen, geteilt nach fahrfremden Tätigkeiten. Darstellung der Reaktionszeit: bis Blick auf der Straße „eyes on“; bis Hände am Lenkrad „hands on“; bis Systemdeaktivierung durch Probandeneingriff; bis Systemdeaktivierung, inkl. verstrichener Zeitbudget. Die Mittelwerte sind dargestellt mit Standardabweichungen (als Fehler Balken). \*  $p \leq 0.05$  \*\*  $p \leq 0.01$ .

<sup>16</sup> Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2016). Is take-over time all that matters? The impact of visual-cognitive load on driver take-over quality after conditionally automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 92, 230-239.

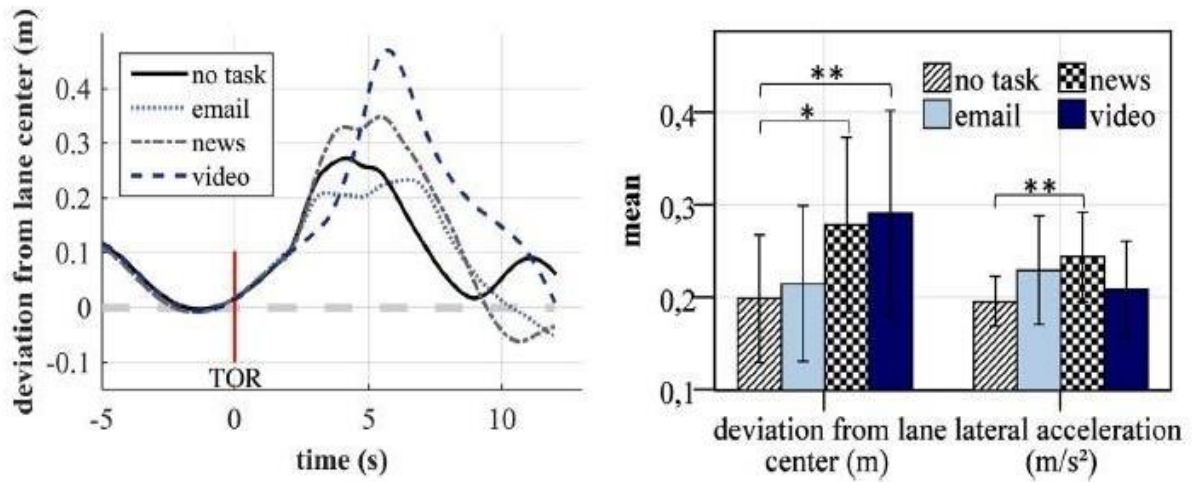


Abbildung 141: Links: mittlere Abweichung von Spurmitte für die vier Probanden-/Fahrer-Gruppen über eine Zeit von 10s nach der Übernahmeaufforderung (take-over request (TOR)) während der Wind/Windböen aktiv war. Rechts: mittlere Abweichung von Spurmitte und mittlere Querbeschleunigung für die vier Probanden-/Fahrer-Gruppen über 10s nach der Übernahmeaufforderung. \*  $p \leq 0.05$  \*\*  $p \leq 0.01$ .

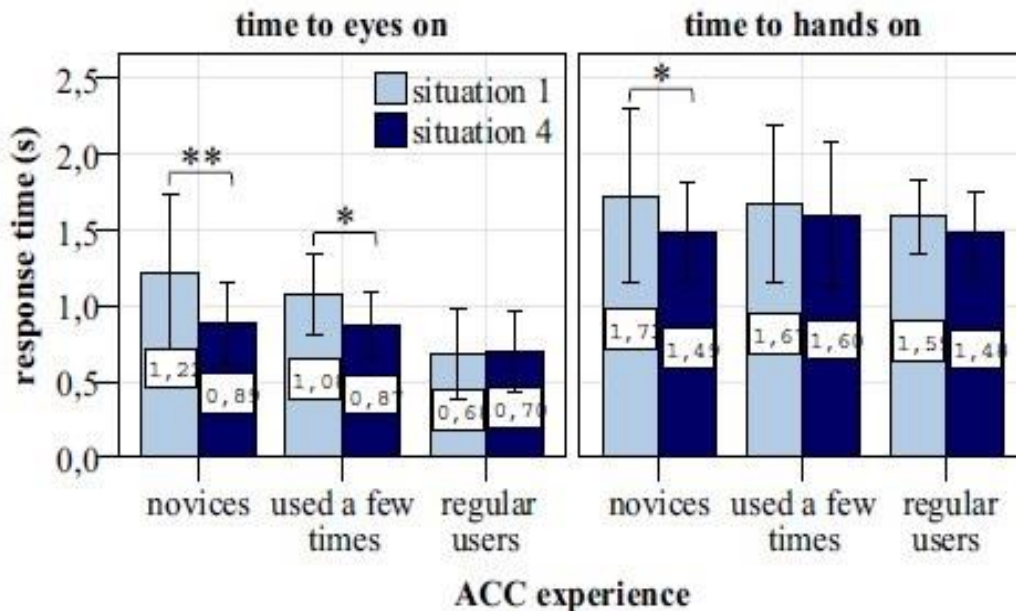


Abbildung 142: Reaktionszeit nach Übernahmeaufforderung für Blick auf der Straße „eyes on“ (links) und Reaktionszeit für Hände an der Lenkrad „hands on“ (rechts) in Übernahmesituationen 1 und 4 für Probanden, die keine, wenig oder regelmäßige Erfahrung mit ACC (Adaptive Cruise Control) hatten. Die Mittelwerte sind dargestellt mit Standardabweichungen (als Fehler Balken). \*  $p \leq 0.05$  \*\*  $p \leq 0.01$ .

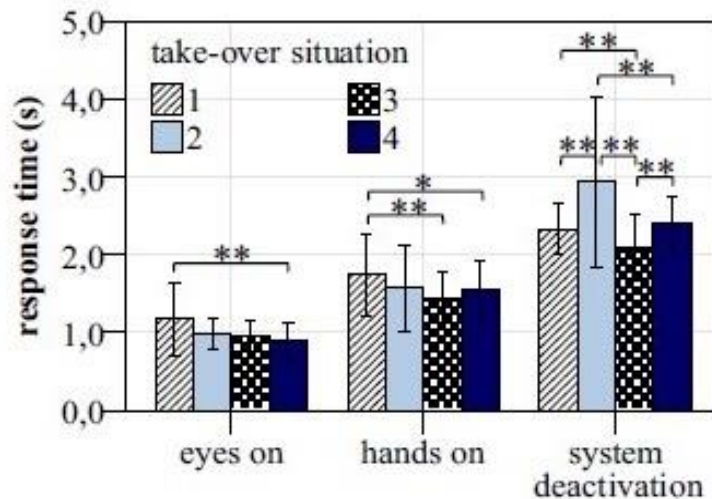


Abbildung 143: Vergleich der Reaktionszeit für Blick auf der Straße „eyes on“ (nur abgelenkte Probanden im Fahr-simulator), Reaktionszeit für Hände an der Lenkrad „hands on“ (abgelenkte und nicht-abgelenkte Probanden) und der Zeit bis Deaktivierung des Systems (abgelenkte und nicht-abgelenkte Probanden) in allen vier Übernahme-situationen. Die Mittelwerte sind dargestellt mit Standardabweichungen (als Fehler Balken). \*  $p \leq 0.05$  \*\*  $p \leq 0.01$ .

### 3.3.2.1.21 Daimler Versuch 3 – Einfluss fahrfremden Tätigkeiten auf Hand-held Devices auf die Übernahmeverhalten

#### 3.3.2.1.21.1 Fotodokumentation



Abbildung 144: Darstellung (Displays) der Systemzustände (von links nach rechts): System nicht verfügbar (not available); System verfügbar (available) aber noch nicht aktiviert; System aktiviert; Übernahme Anforderung (Take over!) wegen erkannter Systemgrenze.



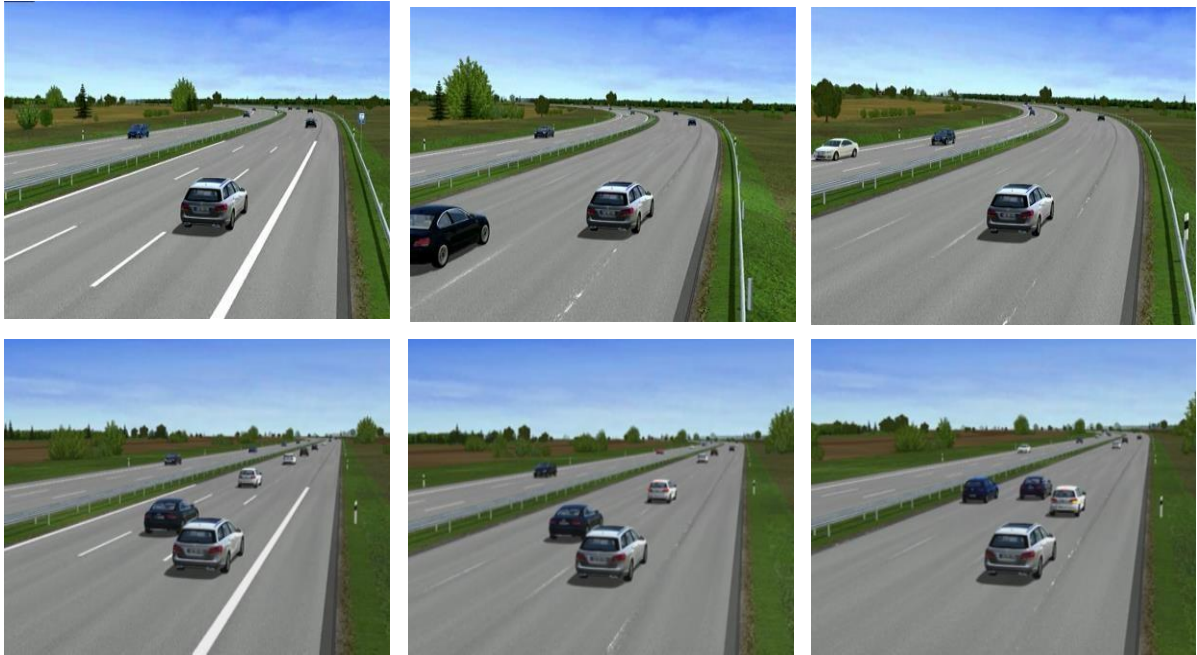


Abbildung 145: Oben: EGO-Fahrzeug driftet seitlich von der Spur in Übernahmesituation (erreichte Systemgrenze) wegen fehlender Spurmarkierungen und seitlichem Wind. Unten: EGO-Fahrzeug bremst wegen plötzlichem Spurwechsel und Verlangsamung des weißen Fahrzeugs nach Überholen.

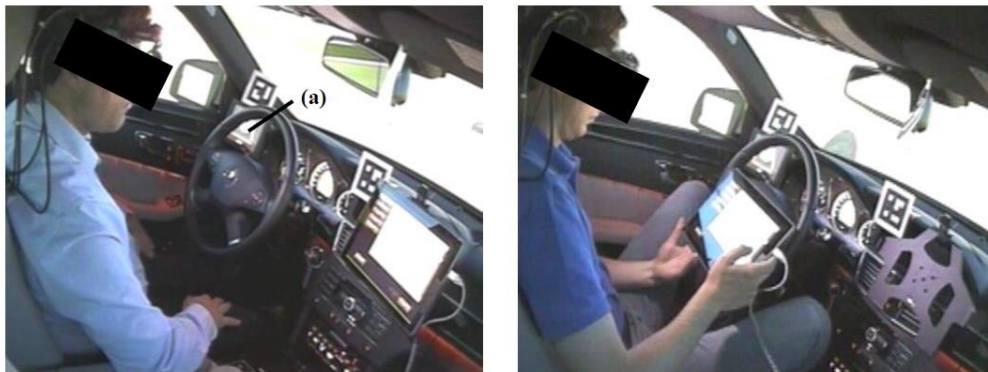


Abbildung 146: Innenzelle im Fahrsimulator. Der Proband ist beschäftigt mit fahrfremden Tätigkeiten, Tablet ist integriert in der Mittelkonsole (links) oder wird in den Händen gehalten (rechts).

### 3.3.2.1.21.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	2015
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Fahrsimulator (Moving Base)
Stichprobengröße:	112
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	Keine Brillenträger (interferiert mit DIKABLIS Eyetracker), breites Bildungs- und Altersspektrum
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	Länge 65km, Geschwindigkeit 130km/h, Dauer ca. 32min, 3-spurige Autobahn, EGO FZG befährt ausschließlich rechte Spur, Verkehrsdichte: ca. 8-10 FZG/min, Fremdfahrzeuge überholen das EGO FZG mit einer Differenzgeschwindigkeit von ca. + 20km/h.



Beschreibung Übernahmeszenario:	Szenario 1: Seitenwind von links in einer Linkskurve ohne Spurmarkierung mit Übernahmeaufforderung  Szenario 2: Einscherer in Fahrabschnitt ohne Spurmarkierung mit Übernahmeaufforderung (Einscherer bremst im Abstand von 20m vor EGO_FZG auf 80km/h ab)
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Szenario 1 & 2: mittel
Zeitbudget:	Szenario 1: 7s erfordert Quereingriff, Szenario 2: 6s erfordert Längseingriff
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Ausführliche Erklärung der HAF-Funktionalität vor Fahrtbeginn (Funktionsumfang, Anzeige-/Bedienkonzept, Fahrerrolle). Ein-/Ausschalten der HAF-Funktion wurde am Anfang der Fahrt trainiert ebenso wie das manuelle Fahren.
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	Keine
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	Gruppe 1: ca. 7:45min vor Situation 1 und ca. 7:30min vor Situation 2 Gruppe 2: ca. 7:45min vor Situation 2 und ca. 7:30min vor Situation 1 (Reihenfolge wurde ausbalanciert, um Reihenfolgeeffekte zu kontrollieren)
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung:	Akustisch (aufdringlicher Doppelpiep) und visuell (Grafik: rotes Lenkrad mit zwei umfassenden Händen und der Unterschrift „Übernehmen“ wurde gleichzeitig mit der akustischen Warnung sowohl auf dem Statusdisplay als auch auf dem Tablet angezeigt, dabei wurde die Nebenaufgabe auf dem Tablet vollständig überblendet)
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Bedienung der Pedalerie (Gas oder Bremse um mehr als 5% des Pedalweges) oder lenken (Lenkwinkel größer +- 2 Grad)
Systemverhalten nach TOR:	Geschwindigkeitsreduktion durch Schleppmoment

### 3.3.2.1.21.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Welchen Einfluss haben verschiedene Arten von fahrfremden Tätigkeiten auf das Übernahmeverhalten, wenn das Tablet auf dem die Nebentätigkeiten durchgeführt wurden in FZG fest verbaut ist vs. wenn das Tablet frei in den Händen gehalten wird
Unabhängige Variablen:	Art und Schwierigkeit der Nebenaufgabe (Within-Faktor) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Text lesen (einfach vs. schwierig) während der betrachteten Situationen</li> <li>- Video schauen oder Musik hören zwischen den betrachteten Situationen</li> <li>- Kontrollgruppe (Fahrsituation beobachten, keine fT)</li> </ul> Anm.: Texte und Videos wurden auf einem in das HMI-Konzept integrierten Windows Tablet (ca. 15“) dargestellt. Textpassagen mussten per Touchscreen weitergeblättert werden, Videos waren auf dem Touchscreen steuerbar. Die Probanden wurden in drei gleich große Gruppen aufgeteilt: High Workload (Nebenaufgaben instruiert), Free Workload (Nebenaufgaben freiwillig), Kontrolle (keine Nebenaufgaben).
Abhängige Variablen:	Subjektiv: Bewertung von Kritikalität und eigener Performance Objektiv: siehe Tabelle 7:

<b>Reaktionszeiten</b>	Beschreibung
Zeit bis „eyes on“ (s)	Erste Blick auf der Straße (video labeling)
Zeit bis „hands on“ (s)	Erste Kontakt mit Lenkrad (video labeling)
Zeit bis Fahrereingriff (s)	Lenken: Lenkradwinkelgeschwindigkeit $\geq$ 10% Bremsen: standard. Bremspedalbewegung $\geq$ 10%
<b>Übernahmequalität</b>	
Reaktion des Fahrers	Nur Lenken; Nur Bremsen; Lenken und Bremsen
<b>Quer Manöver</b>	
Max.Abweichung von Spurmitte (m)	Max.Abweichung von EGO-Fzg von EGO-Spurmitte in 7s nach TOR
Min. Zeit zu Markierungüberqueren (s) = min. time-to-lane-crossing (tlc)	Min. Zeit bis Midpunkt der Fzg-Stoßstange überquert die Spurmarkierung in 7s nach TOR
<b>Längs Manöver</b>	
Min. Abstand (m)	Min. Abstand bis vorfahrendes Fahrzeug in 6s nach TOR
Min. Zeitlücke (s)	Min. Zeitlücke bis vorfahrendes Fahrzeug in 6s nach TOR

Tabelle 7: Abhängige Variablen für die Datenanalyse der Übernahme-situation Blickverhalten während der drei betrachteten Situationen (Video-Labeling)

Hauptergebnisse      Insgesamt gute Kontrollierbarkeit der Übernahmen (s. Abbildung 147)

Fazit aus der Studie für die Fragestellung 1:

Wenn die FFT auf einem Tablet durchgeführt werden, das von den Probanden in den Händen gehalten wird, benötigen diese im Vergleich zu den FFT auf dem Tablet in einer Halterung ca. 0,5 s (mean value) länger für die Übernahme in der Lenkaufgabe (Szene mit Seitenwind) aber nicht länger in der Bremsaufgabe (Szene mit bremsendem Einscherer). Zusätzlich wurde auch eine Verlängerung der „first gaze on road“ Zeiten bei der „handheld“ Gruppe gefunden, weil sie teilweise nach der Übernahmeaufforderung erst das Tablet zur Seite legten und dann erst den Blick auf die Straße richteten. Kognitive Effekte auf das Übernahmeverhalten sind sehr vielschichtig (s. Abbildung 148) und ergeben daher kein einheitliches Bild (Details zur o.g. Studie wurden in einer Publikation beschrieben<sup>17</sup>. Die Darstellung der Datenanalysen (Abbildung 147, Abbildung 148) ist entnommen aus dieser Publikation.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Nutzung von Hand-held Devices keine verzögerten Bremsreaktionen verursacht (Szene mit bremsendem Einscherer). Die Handbelegung durch Hand-held Devices beeinflusst das Reaktionsverhalten nach ToR (Take-over-Request), selbst wenn der ToR auf diesem Device angezeigt wird, weil das Device noch zur Seite abgelegt werden muss. Die Verzögerung bei Lenkübernahme beträgt 1 Sekunde (Szene mit Seitenwind bei fehlender Spurmarkierung).

<sup>17</sup> Kathrin Zeeb, Manuela Härtel, Axel Buchner, Michael Schrauf (Daimler), Why is steering not the same as braking? The impact of non-driving related tasks on lateral and longitudinal driver interventions during conditionally automated driving, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Oct 2017).

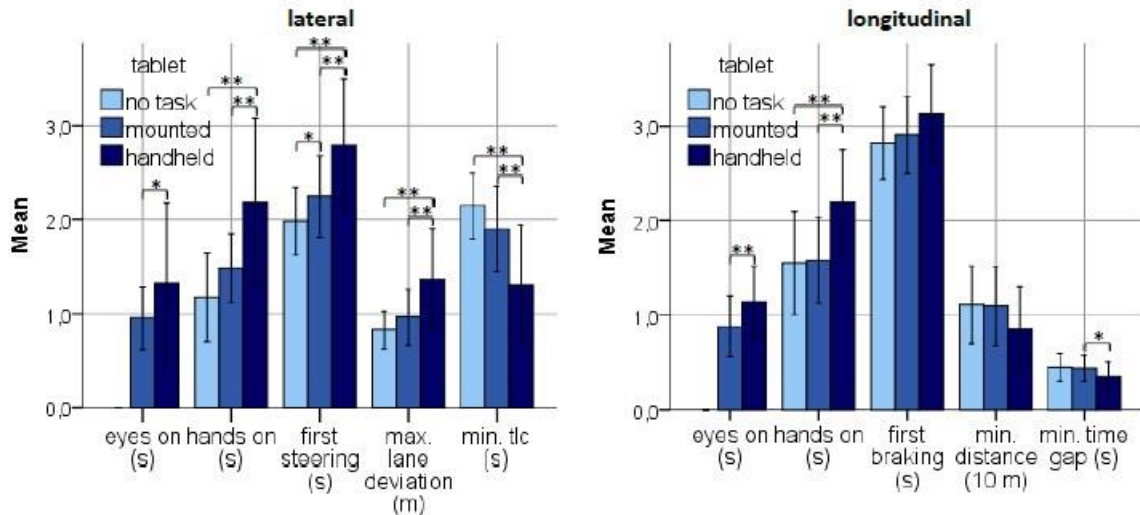


Abbildung 147: Reaktionszeiten und Messung der Übernahmequalität bei quer (lateral) (Bild links) und längs (longitudinal) (Bild rechts) Manövern für Probandengruppen mit verschiedenen manuellen Tätigkeiten. Parameter minimale Abstand „min. distance“ ist geteilt durch 10 für bessere Darstellung. Die Mittelwerte sind abgebildet mit Standardabweichungen (als Fehler-Balken). \*  $p \leq .05$  \*\*  $p \leq .01$ .

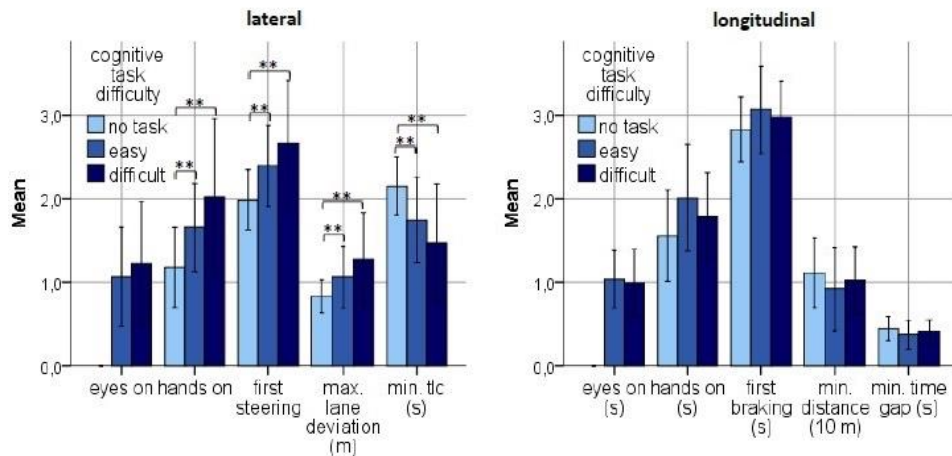


Abbildung 148: Reaktionszeiten und Messung der Übernahme Qualität bei quer (lateral) (Bild links) und längs (longitudinal) (Bild rechts) Manövern für Probandengruppen mit verschiedenem Schwierigkeitsgrad der ausgeübten kognitiven Tätigkeiten. Parameter minimaler Abstand „min. distance“ ist geteilt durch 10 für bessere Darstellung. Die Mittelwerte sind abgebildet mit Standardabweichungen (als Fehler-Balken). \*  $p \leq .05$  \*\*  $p \leq .01$ .

3.3.2.1.22 Daimler Versuch 4 – Einfluss von fahrfremden Tätigkeiten und Freiwilligkeit der Aufgabe (Workload) auf das Übernahmeverhalten. Referenzdatensatz für manuelles Fahren

3.3.2.1.22.1 Fotodokumentation



Fahrsimulator „Moving Base“



Kontrollstand



Fahrzeugkabine W212 (E-Klasse)



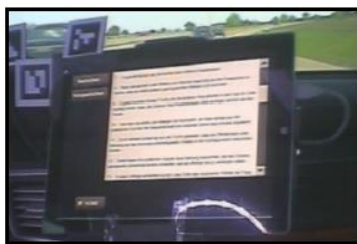
Situation 1 „Einscherer“



Situation 2 „Seitenwind“



Situation 3 „Liegenbleiber“



Nebenaufgaben „Text lesen“



„Video schauen“



„Schatzsuche auf Beifahrersitz“

**Nur manuelle Fahrten, keine Übernahmeaufforderungen, kein HMI**

Abbildung 149: Fotodokumentation Versuch 4 für Referenzdaten zu manuellen Fahrten: Mercedes-Benz Fahrsimulator- und Versuchsumgebung; Getestete Situationen; Ausgeübte fahrfremden Tätigkeiten.



Abbildung 150: Videodokumentation (Screenshot) der Versuchsumgebung.

### 3.3.2.1.22.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Juni - September 2016
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände / öffentl. Gelände)):	Fahrsimulator (Moving Base)
Stichprobengröße:	165
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	Keine Brillenträger (interferiert mit DIKABLIS Eyetracker), breites Bildungs- und Altersspektrum
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	Länge 62km, vorgegebene Geschwindigkeit 130km/h, Dauer ca. 30min, 3-spurige Autobahn, Fahrer fährt ausschließlich rechte Spur, Verkehrsdichte: ca. 8-10 FZG/min, Fremdfahrzeuge überholen das EGO FZG mit einer Differenzgeschwindigkeit von ca. + 20km/h.
Kein Übernahmeszenario, die Fahrer mussten die Verkehrssituationen selbstständig bewältigen:	Verkehrssituation 1: Einscherer ohne Übernahmeaufforderung (Längseingriff des Fahrers erforderlich)  Verkehrssituation 2: Seitenwind von links in einer Linkskurve ohne Spurmarkierung ohne Übernahmeaufforderung (Quereingriff erforderlich)  Verkehrssituation 3: Liegenbleiber auf EGO-Spur ohne Übernahmeaufforderung (Bremsen bis zum Stillstand erforderlich, Lenken bzw. Ausweichen nach links nicht möglich, da nachfolgender Verkehr den Spurwechsel nach links blockiert)
Einstufung Verkehrssituation (gering/mittel/hoch):	Verkehrssituation 1 & 2: mittel, Verkehrssituation 3: hoch

Zeitbudget:	Variiert mit der individuellen Geschwindigkeit (bei 130km/h ca. 5s)
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Keine HAF-Funktion zur Verfügung gestellt, alle Fahrten wurden manuell durchgeführt (diese Studie 3a dient als manuelle Referenz zur HAF-Studie 3b, die für 2017 geplant war)
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	Keine
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	Keine automatisierte Fahrt und damit auch kein TOR
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung:	entfällt
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Keine HAF-Funktion verfügbar
Systemverhalten nach TOR:	keine

### 3.3.2.1.22.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	- Welchen Einfluss haben verschiedene Arten von fahrfremden Tätigkeiten (FFT) auf das Fahrverhalten in betrachteten Verkehrssituationen?
Fragestellung 2:	- Welchen Einfluss hat die Freiwilligkeit der Nebenaufgabe?
Unabhängige Variablen:	<p>Art und Schwierigkeit der Nebenaufgabe (Within-Faktor)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Text lesen (freiwillig ohne Inhaltsfragen)</li> <li>- Text lesen (instruiert mit Inhaltsfragen)</li> <li>- Video schauen (freiwillig ohne Inhaltsfragen)</li> <li>- Video schauen (instruiert mit Inhaltsfragen)</li> <li>- Schatzsuche in Kiste auf Beifahrersitz (freiwillig)</li> <li>- Schatzsuche in Kiste auf Beifahrersitz (instruiert)</li> <li>- Kontrollgruppe (Fahrsituation beobachten, keine FFT)</li> </ul> <p>Anm.: Texte und Videos wurden auf einem fest installierten und Windows Tablet (ca. 15") dargestellt. Textpassagen mussten per Touchscreen weitergeblättert werden, Videos waren auf dem Touchscreen steuerbar. Die Probanden wurden in drei gleich große Gruppen aufgeteilt: High Workload (Nebenaufgaben instruiert), Free Workload (Nebenaufgaben freiwillig), Kontrolle (keine Nebenaufgaben).</p>
Abhängige Variablen:	<p>Subjektiv: Bewertung von Einfluss der Nebenaufgabe und eigener Performance</p> <p>Objektiv: Fahrerverhalten in betrachteten Verkehrssituationen bei gleichzeitiger Durchführung von vordefinierten Nebenaufgaben (z.B. Eyes-on-road, foot-on brake pedal, Spurhaltung, Lenken, Bremsen etc.)</p> <p>Blickverhalten während der drei betrachteten Situationen</p>
Hauptergebnisse:	Insgesamt gute Kontrollierbarkeit der Verkehrssituationen 1 und 2. Verkehrssituation 3 zeigt Einfluss auf die Reaktionszeiten, insbesondere bei der High Workload Gruppe.
	Die Aufgabe „Schatzsuche“ (insbesondere wenn instruiert) zeigt die größte Spurabweichung, die größte Geschwindigkeitsabnahme und die größte Ablenkung von der Fahraufgabe (Monitoring Frequency „Eyes-on-road“) und führt zu verzögerten Reaktionszeiten (foot-on brake



---

pedal). Die Aufgabe Schatzsuche kann auch schon heute während des Fahrens durchgeführt werden, wenn man etwas sucht. Ohne Unterstützung eines Assistenzsystems kommt es zu einem unbeabsichtigten, ggf. kritischen Verlassen der Fahrspur oder Annäherung an den Vordermann, was ein Assistenzsystem verbessert bzw. reduziert.

---

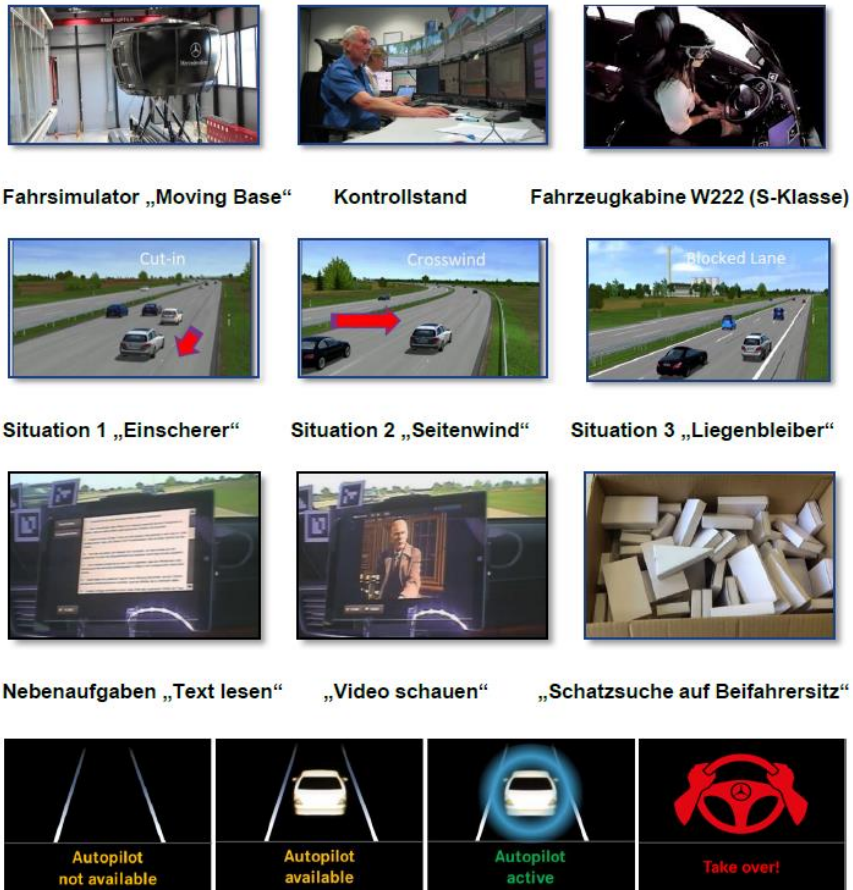
#### Fazit aus der Studie

Generell zeigen die Probanden in der Free Workload Gruppe die besseren Verhaltensweisen bezogen auf die Adäquatheit der Reaktion „Bremsen“ in der Verkehrssituation 3, während die Probanden in der High Workload Gruppe hierbei auch vermehrt das falsche Verhalten „Lenken“ zeigen. Die Reaktionszeiten in der Verkehrssituation 3 „Liegenbleiber“ sind in der High Workload Gruppe am höchsten, während die der Free Workload Gruppe auf dem Niveau der Kontrollgruppe liegen. Die Spurhaltung ist in der Kontrollgruppe generell am besten und unterscheidet sich nicht zwischen der Free und der High Workload Gruppe (d.h. beide Gruppen sind in etwa gleich zu bewerten). Die HWL stellt einen Grenzfall einer hohen, die FWL dagegen stellt ein zu erwartendes (da durch den Fahrer selbst eingestelltes) Belastungsniveau dar.

---

3.3.2.1.23 Daimler Versuch 5 – Einfluss von fahrfremden Tätigkeiten und Freiwilligkeit der Aufgabe (Workload) auf das Übernahmeverhalten während automatisiertes Fahren Level 3 (im Vergleich zu manuellem Fahren)

3.3.2.1.23.1 Fotodokumentation



HMI- Status-Anzeige Autopilot und Übernahmeaufforderung in der Headunit

Abbildung 151: Fotodokumentation Versuch 5: Mercedes-Benz Fahrsimulator- und Versuchsumgebung; Getestete Situationen; Ausgeübte fahrfremden Tätigkeiten; HMI-Status Anzeige Autopilot und Übernahmeaufforderung in der Headunit.



Abbildung 152: Videodokumentation (Screenshot) der Versuchsumgebung.

### 3.3.2.1.23.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Juni/Juli 2017
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Fahrsimulator (Moving Base)
Stichprobengröße:	96
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	Keine Brillenträger (interferiert mit DIKABLIS Eyetracker), breites Bildungs- und Altersspektrum
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	Länge 62km, Geschwindigkeit 130km/h, Dauer ca. 30min, 3-spurige Autobahn, EGO-FZG befährt ausschließlich rechte Spur, Verkehrsdichte: ca. 8-10 FZG/min, Fremdfahrzeuge überholen das EGO-FZG mit einer Differenzgeschwindigkeit von ca. + 20km/h.
Beschreibung Übernahmeszenario:	Szenario 1: Einscherer ohne Übernahmeaufforderung (EGO-FZG bremst selbständig bis auf 80km/h ab), Szenario 2: Seitenwind von links in einer Linkskurve ohne Spurmarkierung mit Übernahmeaufforderung, Szenario 3: Liegenbleiber auf EGO Spur ohne Übernahmeaufforderung (EGO-FZG bremst selbständig bis zum Stillstand ab)
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Szenario 2: mittel
Zeitbudget:	Für Probanden nicht transparent (Restzeit bis Erreichen der Systemgrenze wurde nicht explizit kommuniziert; in der Instruktion wurde lediglich darauf hingewiesen, dass die Automatisierung bei ausbleibender Reaktion in den Stillstand abbremsen würde)
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Ausführliche Erklärung der HAF-Funktionalität vor Fahrtbeginn (Funktionsumfang, Anzeige-/Bedienkonzept,

	Fahrerrolle). Ein- /Ausschalten der HAF-Funktion wurde am Anfang der Fahrt trainiert ebenso wie das manuelle Fahren
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	Keine
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	ca. 20 Minuten
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	Akustisch (aufdringlicher Doppelpiep) und visuell (Grafik: rotes Lenkrad mit zwei umfassenden Händen und der Unterschrift „Übernehmen“ wurde gleichzeitig mit der akustischen Warnung sowohl auf der Headunit als auch auf dem Tablet angezeigt, dabei wurde die Nebenaufgabe auf dem Tablet vollständig überblendet)
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Bedienung der Pedalerie (Gas oder Bremse um mehr als 5% des Pedalweges) oder Lenken (Lenkwinkel größer +- 2 Grad)
Systemverhalten nach TOR:	Geschwindigkeitsreduktion durch Schleppmoment

### 3.3.2.1.23.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Welchen Einfluss haben verschiedene Arten von fahrfremden Tätigkeiten auf das Übernahmeverhalten (mit und ohne Übernahmeaufforderung)?
Fragestellung 2:	Welchen Einfluss hat die Freiwilligkeit der Nebenaufgabe?
Fragestellung 3:	Welche differentiellen Effekte von obligatorischen und freiwilligen fahrfremden Tätigkeiten existieren in Bezug auf das Blick- und Reaktionsverhalten (d.h. Reaktionszeit und -qualität) in der Übernahme-situation (S2) mit Ausgabe einer Übernahmeaufforderung (TOR).
Unabhängige Variablen:	<p>Art und Schwierigkeit der Nebenaufgabe (Within-Faktor)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Text lesen (freiwillig ohne Inhaltsfragen)</li> <li>- Text lesen (instruiert mit Inhaltsfragen)</li> <li>- Video schauen (freiwillig ohne Inhaltsfragen)</li> <li>- Video schauen (instruiert mit Inhaltsfragen)</li> <li>- Schatzsuche in Kiste auf Beifahrersitz (freiwillig)</li> <li>- Schatzsuche in Kiste auf Beifahrersitz (instruiert)</li> <li>- Kontrollgruppe (Fahrsituation beobachten, keine FFT)</li> </ul> <p>Anm.: Texte und Videos wurden auf einem fest installierten und in das HMI-Konzept integrierten Windows Tablet (ca. 15“) dargestellt. Textpassagen mussten per Touchscreen weitergeblättert werden, Videos waren auf dem Touchscreen steuerbar. Die Probanden wurden in drei gleich große Gruppen aufgeteilt: High Workload (Nebenaufgaben instruiert), Free Workload (Nebenaufgaben freiwillig), Kontrolle (keine Nebenaufgaben).</p>
Abhängige Variablen:	<p>Subjektiv: Bewertung von Kritikalität und eigener Performance, Systemvertrauen</p> <p>Objektiv: Übernahmeverhalten in Situationen mit und ohne Übernahmeaufforderung (Übernahmezeiten und -qualität: z.B. Eyes-on-road, hands-on-wheel, Spurhaltung, Lenken, Bremsen etc.)</p> <p>Blickverhalten während der drei betrachteten Situationen</p>

Hauptergebnisse:	<p>Insgesamt gute Kontrollierbarkeit der Übernahmen in Situation 2 (mit TOR), teilweise Übernahmen ohne Übernahmeaufforderung in Situation 1 und 3.</p> <p>Details zu Übernahmezeiten und -qualitätsmaßen sowie Blickverhaltensdaten sind in dem Fazit (Übernahmeverhalten...) unten zusammengefasst.</p>
Fazit aus der Studie für die Fragestellung 1:	<p>Die Nebenaufgabe „Lesen“ (insbesondere wenn instruiert) zeigt die vergleichsweise größte Ablenkung von der Fahrscene (Monitoring Frequency Eyes-on-road am geringsten) während „Film schauen“ eine geringere Ablenkung von der Fahrscene erzeugt, die auf dem Level der Kontrollgruppe liegt. Auffälligkeit: „Film schauen“ ist im Vergleich zum „Lesen“ leichter unterbrechbar und wurde zeitweise nur akustisch durchgeführt.</p>
Fazit aus der Studie für die Fragestellung 2:	<p>Generell wird die Fahrscene in der Free Workload Gruppe am häufigsten beobachtet (Monitoring Frequency Eyes-on-Road am größten), d.h. sogar häufiger als bei der Kontrollgruppe.</p> <p>Auffälligkeit: Das allgemeine Blickverhalten in der Free Workload Gruppe wirkt deutlich wacher und lebhafter als in der Kontrollgruppe ohne Nebenaufgaben (Abbildung 153), die eher etwas gelangweilt bis müde erscheint.</p>
Fazit aus Studie für Fragestellungen 1,2,3:	<p><b>Übernahmeverhalten nach Übernahmeaufforderung</b></p> <p>Unter den Studienbedingungen wurde folgendes beobachtet:</p> <p>Das Übernahmeverhalten des Probanden wird mittels seines Blickverhaltens in Kombination mit seinem Reaktionsverhalten im Fall einer Situation mit Übernahmeaufforderung charakterisiert. Das Reaktionsverhalten des Probanden wird durch seine Reaktionszeit (Abbildung 154) bei der Übernahme nach Übernahmeaufforderung für die Situation „Fehlende Spurmarkierungen und Seitenwind“ charakterisiert.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alle Probanden (nach TOR) übernehmen zuverlässig die Führung des Fahrzeugs. Die abgebildeten differentiellen Effekte stellen den Vergleich zwischen den zwei Belastungsniveaus (obligatorischen/HWL und freiwilligen/FWL) der fahrfremden Tätigkeiten und der Referenz-Gruppe (No Workload, d.h. ohne Tätigkeiten) dar.</li> <li>- Die Reaktionszeiten der Probanden während unterschiedlicher fahrfremder Tätigkeiten (englisch: non-driving related tasks (NDRTs)) und unter dem gleichen Belastungsniveau (Workload) sind statistisch signifikant, aber praktisch irrelevant, weil kleiner als 3s. Hier wird vorausgesetzt, dass das HAF-System mindestens unter diese drei Sekunden überbrücken kann und das Fahrzeug sicher steuert.</li> <li>- Untenstehende Abbildungen zeigen, dass die Reaktionszeit nach TOR unabhängig vom Blickverhalten 60s vor TOR ist, weil alle Probanden nach TOR die Fahrzeugkontrolle sicher übernommen haben (Stabilisierung in der Fahrspur bei Seitenwind).</li> </ul> <p>Die Qualität der Probandenübernahme wurde in einem Zeitfenster von 60s nach TOR gemessen. Die im Fahrsimulator beobachteten Unterschiede in den Probanden-Reaktionen (Spurabweichung) während der unterschiedlichen NDRT-Modalitäten und unterschiedlichen</p>

Belastungsniveaus (Workloads) sind praktisch irrelevant, da sie sich immer noch in den Spurgrenzen befinden.

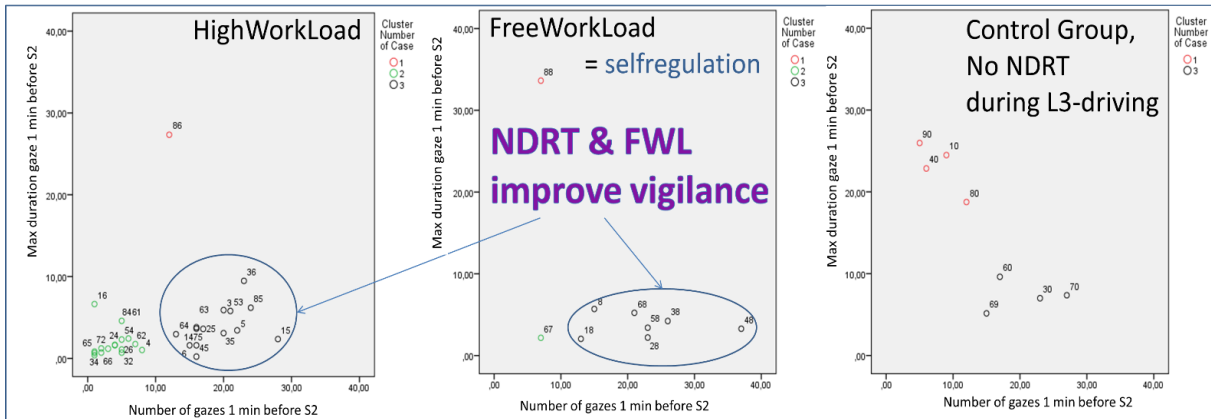


Abbildung 153: Probanden-Aufmerksamkeitscluster: Anzahl der Kontrollblicke und deren maximale Blickdauer während einer L3-autonomatisierten Fahrt vor der Situation mit ToR. Die Graphiken wurden mittels „k-means-clustering“ generiert.

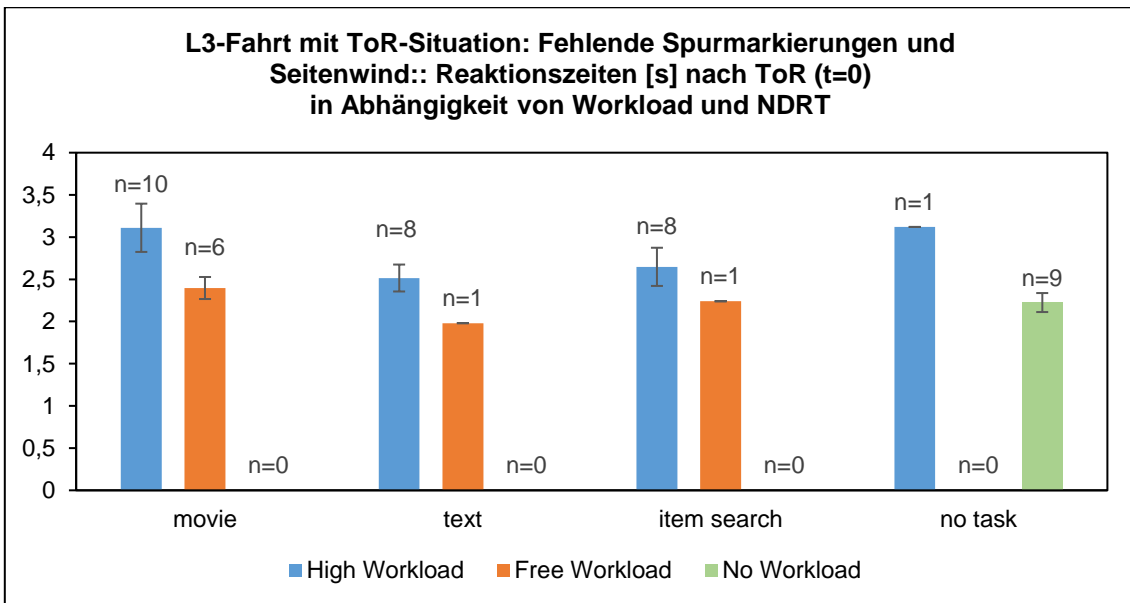


Abbildung 154: Reaktionszeiten nach ToR (t=0) in Abhängigkeit von Workload und NDRT.

### 3.3.2.2 Modul Fahrer Verfügbarkeit

Die Arbeiten zum Thema Langzeitauswirkung HAF und fahrfremder Tätigkeiten auf den Fahrerzustand wurden von den Partnern äußerst umfassend untersucht, da sich höhere Level von Müdigkeit neben individuellen Faktoren vor allem nach längeren, automatisierten Fahrten zeigen. Dabei konnte aber bei den meisten Partnern kein klarer Zusammenhang zwischen Müdigkeitslevel und Übernahmeleistung durch eine Modellierung erzielt werden.

Einzelne Aspekte, die initial für die Integration in den Verfügbarkeitschätzer, wie bspw. Vigilanzdekremete, vorgesehen waren, werden nach kritischer Betrachtung der Versuchsergebnisse aus dem UAP3.2. nicht integriert werden. Die teilweise sehr große Datenmenge und die verwendete Sensorik, die nicht echtzeit-fähig ist, verhindern eine Integration einzelner Sensoren in Verfügbarkeitschätzer der Konsortialpartner, der in Echtzeit eine Messung des Fahrerzustands und basierend darauf eine Vorhersage einer Übernahmeleistung leisten sollte. Fokus lag demzufolge auf der validen Detektion von für die Übernahme-relevanten



Zustandsaspekten und weniger auf der Integration aller Sensorik in den Verfügbarkeitschätzer, der eine Live-Schätzung der Verfügbarkeit vornehmen soll.

Nachfolgend die Arbeiten der Partner BMW und Bosch zu einer Modellierung und damit Prädiktion von Übernahmeleistung auf Basis von Sensordaten, welche die Fahrer Verfügbarkeit während der automatisierten Fahrt messen.

#### 3.3.2.2.1 BMW

Ziel des Fahrer Verfügbarkeitsmodells war die Modellierung von Übernahmeleistungsparametern des Fahrers (Blickreaktionszeit, Übernahmezeit, Übernahmequalität). Als Datengrundlage dienten Daten von 367 Übernahmen aus 5 Fahrsimulatorstudien, die hauptsächlich zum Thema Müdigkeit, aber auch unter Berücksichtigung unterschiedlicher fahrfremder Tätigkeiten von BMW durchgeführt wurden. Insgesamt gingen 26 verschiedene Features in die Modellierung ein, mit denen entsprechende Machine Learning Modelle (Lineare Regression, Random Forest, XGBoost) trainiert wurden. Wie bereits im letzten Halbjahresbericht berichtet, leisten die erzielten Modelle jedoch nur wenig Beitrag zur Erklärung der auftretenden Varianz der genannten Parameter: Während sich zumindest ein geringer Einfluss des Fahrerzustands auf die Übernahmezeit sowie die Blickreaktionszeit zeigt (es kann jeweils 17% der Varianz erklärt werden), kann für die Übernahmequalität keinerlei Zusammenhang zum Fahrerzustand gefunden werden. Die Vorerfahrung der Fahrer mit Übernahmen oder Assistenzsystemen im Allgemeinen spielte hierbei die größte Rolle für die Erklärung der Übernahme- und Blickreaktionszeiten. Aufgrund des insgesamt jedoch geringen Erklärungswertes der Modelle wurde in Absprache mit dem Projektträger auf die Umsetzung im Realfahrzeug und die anschließende Validierung verzichtet.

#### 3.3.2.2.2 Bosch

Auf Basis eigener durchgeführter Übernahmeveruche auf öffentlichen Straßen in unkritischen Verkehrssituationen (Steckbrief siehe Seite 115) wurden zwei alternative Vorhersagemodelle zur Prädiktion des Übernahmezeitbedarfs und der daraus abgeleiteten Fahrer Verfügbarkeit entwickelt.

Der erste Ansatz beruht auf einem multiplen linearen Regressionsmodell mit den Prädiktorvariablen

- Blickrichtung zum Zeitpunkt der Übernahmearaufforderung (verkehrsbezogen vs. nicht verkehrsbezogen),
- Status der zur Kontrollübernahme erforderlichen Hände (mindestens 1 Hand durch ein Objekt belegt vs. beide Hände zur HAF Deaktivierung verfügbar),
- Körperorientierung (Oberkörper stark abgewendet vs. Oberkörper in Fahrtrichtung),
- Durchschnittliche Übernahmezeit aus anderen Übernahmen.

Ein Regressionsmodell, das aus einem unabhängigen Trainingsdatensatz (N=17) abgeleitet ist und nur die ersten drei (motorischen) Einflussgrößen berücksichtigt, kann dabei ca. 25% der Varianz in einem Validierungsdatensatz (N=17) erklären. Nimmt man den nicht situationspezifischen individuellen Faktor „Durchschnittliche Übernahmezeit aus anderen Übernahmen“ hinzu, steigt der Anteil der erklärbaren Varianz auf mehr als 70%.

Der zweite Ansatz zur Modellierung der Fahrer Verfügbarkeit beruht auf einer Analyse der situationsspezifischen Aufgaben, die im Rahmen eines postulierten, idealtypischen Fahrerzustandsübergangs erforderlich sind. Der Ansatz berücksichtigt dabei mehr als 10 Einflussgrößen und beruht auf einer Mischung aus Entscheidungsbaum, Pfadanalysen, motorischen Teilmodellen sowie Annahmen aus der kognitiven Architektur ACT-R. Bei Berücksichtigung eines individuellen Faktors auf Basis vergangener Übernahmezeiten konnte mit diesem datenunabhängigen Ansatz ca. 54% der Varianz in den Übernahmezeiten des gesamten Datensatzes (N=34) erklärt werden.

Zur Demonstration beider Ansätze wurden die Verfügbarkeitsmodelle in Python implementiert und mit einer grafischen Benutzeroberfläche (siehe Abbildung 155) versehen. Weiterhin wurde

für das diesjährige Treffen der „Human Factors and Ergonomics Society – Europe Chapter“ ein Paper eingereicht, in dem der Einfluss individueller Fahrermerkmale auf die Übernahmeleistung analysiert wird (Titel: „Prediction of Take-Over Performance in Conditionally Automated Driving. Results of a Naturalistic Driving Study“)<sup>18</sup>.

Die Vorhersagekraft der Fahrerverfügbarkeitsmodelle scheint auf einem mittleren bis guten Niveau zu liegen. Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass sich die Validierung der Modelle ausschließlich auf unkritische und zeitlich nicht dringliche Übernahme-situationen bezieht. Für kritische Situationen könnten weitere Mechanismen eine entscheidende Rolle spielen, die eine Vorhersage der Übernahmeleistung deutlich schwieriger machen (siehe vo-riger Abschnitt von BMW).

Abbildung 155: Grafische Benutzeroberfläche für den interaktiven Demonstrator zum „Fahrerverfügbarkeitsmodell“.

### 3.3.2.2.3 Opel

Neben der Untersuchung des Übernahmeverhaltens dienten die Probandenstudien in UAP3.2. außerdem der Entwicklung eines Verfahrens zur kamerabasierten Fahrtätigkeitsschätzung (= Modul Fahrerverfügbarkeit). Hierbei wird ein Machine-Learning-Ansatz (Links-Rechts Hidden-Markov-Modelle) verwendet, der eine Online-Klassifikation der aktuell durchgeführten fahrfremden Tätigkeit ermöglicht. Nach der Integration der Hardware (2D- und 3D-Kameras sowie Messrechner) wurden die für den Betrieb im Versuchsträger notwendigen Anpassungen der Parameter der Vorverarbeitungsmodule (z.B. Blick- und Handbereichsschätzungen) vorgenommen. Zudem wurde eine Reihe von Messdaten im Versuchsfahrzeug erhoben, um die Erkennungsleistung weiter optimieren zu können. Das Modul Fahrerverfügbarkeit ermöglicht eine Erkennung der fahrfremden Tätigkeiten in Echtzeit und wurde auf der Abschlusspräsentation von Ko-HAF gezeigt.

Auf Basis der sehr umfassenden Datensammlung aus den Versuchen erscheint es abschließend sinnvoll, konkrete Annahmen der VHB zum Verfügbarkeitsschätzer zu korrigieren, da sich der Einfluss mancher Fahrerzustände auf die Übernahmeleistung nicht wie erwartet darstellt. Eine Vorhersage von Übernahmezeit und -qualität auf Basis einer gemessenen Verfügbarkeit der Fahrer für eine Übernahme gelingt ohne die Berücksichtigung von individuellen Unterschieden der Fahrer nur ungenügend.

<sup>18</sup> Berghöfer, F. L., Purucker, C., Naujoks, F., Wiedemann, K., & Marberger, C. (2018). Prediction of take-over time demand in conditionally automated driving – results of a real world driving study. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Europe Chapter.

#### 3.3.2.2.4 Visteon

Die Arbeiten von Visteon basieren nicht auf experimentellen Untersuchungen, sondern auf konzeptuellen Betrachtungen vor dem Hintergrund der Integration eines Moduls zur Fahrer Verfügbarkeit in ein automatisiertes Fahrsystem. Dazu zählen die Modellierung messbarer Fahrerreaktion sowie die Schematisierung des Ablaufs der typischen Zustände des Fahrers während der Übernahme.

Die Reaktion des Fahrers auf die Übernahmeaufforderung können Größtenteils als typische Reaktion auf einen Stimulus verstanden werden. Die Reaktionszeit hat die typische nicht-Gaußsche Verteilung und eine sog. Schiefe<sup>19</sup> (Skewness) in Richtung der fortlaufenden Zeit, da ja Reaktionen vor dem Stimulus nicht plausibel sind. In der Literatur wird als Verteilung der Reaktionszeit eine exponentiell modifizierte Gauß-Verteilung (EMG) vorgeschlagen, die Summe zweier Zufallsvariablen die einerseits Gauß verteilt und andererseits exponentiell verteilt ist. Die resultierende Verteilungsdichtefunktion ist eine Faltung von einer Gaußschen und einer exponentiellen Verteilungsdichtefunktion. Zusätzlich zu den Parametern Mittelwert und Varianz wird die Verteilung nun noch durch die Schiefe (Tau) charakterisiert und erlaubt eine kompakte Darstellung der Verteilung.

Insbesondere für die reflexhaften Reaktionen wie „Blickreaktion“ und „Hände am Lenkrad“ können die Modellierungen mit der EMG-Verteilung sinnvoll sein, um einen funktionalen Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der Reaktion und seiner typischen Wahrscheinlichkeit herzustellen. Für Reaktionsmerkmale die einen größeren kognitiven Anteil haben, ist die Modellierung mit der EMG Verteilung auch möglich, aber erfahrungsgemäß nicht eindeutig, da kognitive Prozesse durch diese Modellierung schlecht abgebildet werden und auch individuell sehr unterschiedlich sein können.

Exemplarisch wurden die Messwerte in Form von kumulierten Verteilungen verschiedener Reaktionsmerkmale einer publizierten Studie synthetisiert<sup>20</sup>. D.h. die kumulierten Verteilungen wurden in Stützwerte übertragen, eine kontinuierliche Funktion erstellt und damit einer gleichverteilte synthetischen Zufallsvariable diese Verteilung aufgeprägt (siehe Abbildung 156, links). Damit war eine Datenausgangssituation geschaffen wie nach einem Experiment. Die Tätigkeiten des Fahrers wie „überwachen“, „lesen“ und „spielen“ waren die unabhängigen Variablen. Aus den Daten wurden dann die Parameter der EMG-Verteilung mittels Maximum-Likelihood Methode geschätzt. Daraus ergeben sich einzelne Wahrscheinlichkeitsdichten für die unabhängige Variable „Fahrertätigkeit“ (siehe Abbildung 156, rechts).

Zum Zeitpunkt  $t=0$  wurde die Übernahmeaufforderung ausgegeben und dass der Wert der kulminierten Verteilung größer null war, deutet daraufhin, dass z.B. ca. 80% der Versuchspersonen mit der Tätigkeit „überwachen“ schon vor der Übernahmeaufforderung den Blick in Richtung Straße hatten. Zur Bestimmung der EMG-Verteilungsparameter wurde dieser Anteil von den Zufallsvariablen abgezogen. Die Fläche unter der Dichtefunktion entspricht dann in diesem Fall ca. 20%. Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen der verschiedenen Tätigkeiten können also in direkten Vergleich gesehen werden und die Schnittpunkte der Dichten trennen den Zeitverlauf in diskrete Bereiche größter Wahrscheinlichkeit von Fahrertätigkeiten (schwarze Senkrechten rechts in Abbildung 156).

<sup>19</sup> Die Schiefe ist das 3. zentrale Moment, nach Mittelwert (1. Moment) und Varianz (2. Moment) einer Zufallsvariable.

<sup>20</sup> Vogelpohl, Tobias; Vollrath, Mark (2016): Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren. Unfallforschung kompakt. Hg. v. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Berlin.

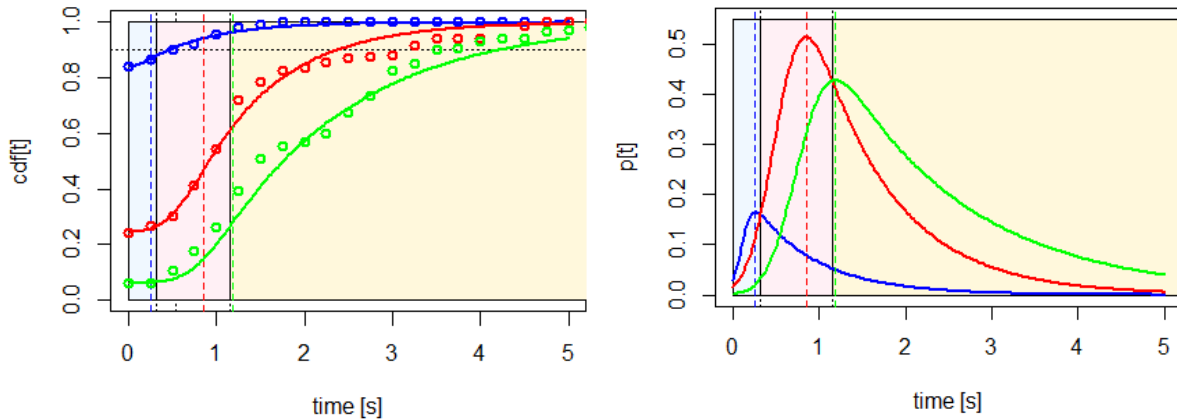


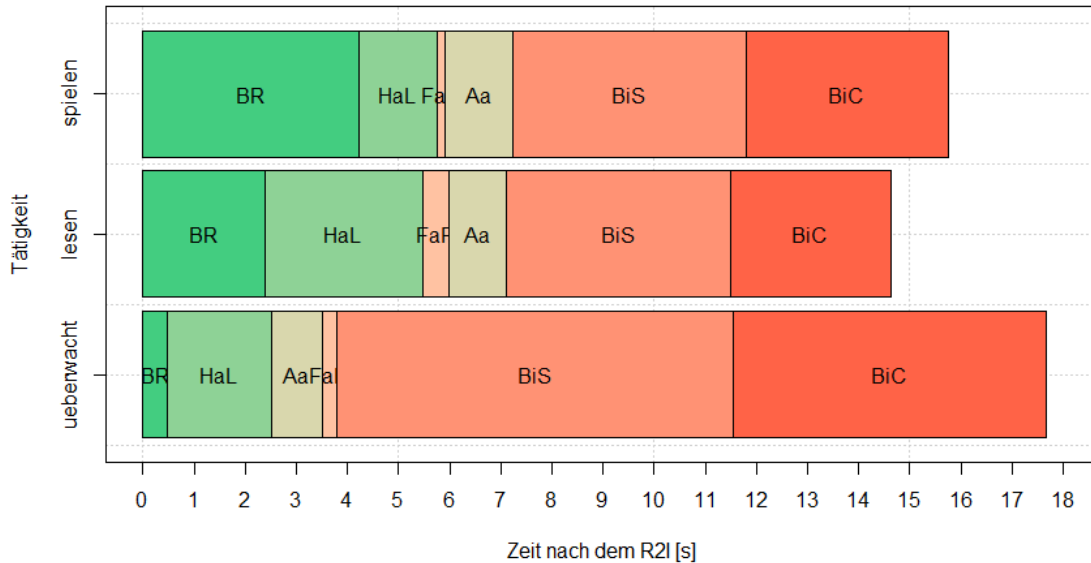
Abbildung 156: Reaktionsmerkmal „Blickreaktion“: (Links) kumulierte Verteilungsfunktionen der Reaktion. Mit Kreisen markiert sind die Stützstellen der Daten der Studie. Die durchgezogenen Linien sind die modellierten Werte über der Zeit. (Rechts) Modellierte Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen. Die Tätigkeiten des Fahrers waren „überwachen“ (blau), „lesen“ (rot) und „spielen“ (grün).

Farbe	NDRT	Zeitraum [s]	t bei Pmax [s]	t bei CDF 90% [s]
Blau	Überwacht	0 - 0.31	0.25	0.46
Rot	Lesen	0.31 – 1.13	0.84	2.4
Grün	Spielen	> 1.13	1.19	4.21

Tabelle 8: Zeitbereiche der maximalen Wahrscheinlichkeit einer fahrfremden Tätigkeit bei dem Reaktionsmerkmal „Blickreaktion“. Die Zeitbereiche korrespondieren mit den markierten Bereichen in Abbildung 156 rechts.

Den Informationsgewinn aus diesen Betrachtungen kann folgendermaßen beschrieben werden: Wird der Zeitpunkt einer Blickreaktion gemessen, kann über die Einordnung in die Zeitbereiche die fahrfremde Tätigkeit (NDRT) bestimmt werden, die maximal wahrscheinlich ist. Das muss nicht zwangsläufig eine hohe Wahrscheinlichkeit sein. Es kann also allgemein für ein Reaktionsmerkmal eine NDRT mit dazugehöriger Wahrscheinlichkeit ausgegeben werden.

In Tabelle 8 sind auch die Zeitpunkte der kumulierten Verteilungsfunktion bei 90% angegeben. Sie geben den Zeitpunkt an, ab wann 90% der Versuchspersonen und mehr die Blickreaktion geleistet haben. Die Betrachtungen der 90% Perzentile aller der Reaktionsmerkmale ergeben eine typische Abfolge der Merkmale über der Zeit und zwar weitgehend unabhängig von der NDRT: Nach der initialen Blickreaktion (BR) werden die Hände ans Lenkrad (HaL) genommen und dann folgen die Füße an der Pedalerie (FaP) oder die Automation wird ausgeschaltet (Aa). Erst danach erfolgen Blick in die Spiegel (BiS) oder das Cluster (BiC) (siehe Abbildung 157). Deutlich zu erkennen sind die Unterschiede in den zeitlichen Ausmaßen der frühen Ereignisse, wie BR, HaL, FaP und Aa bei den verschiedenen NDRTs. Danach schalten 90% der überwachenden Fahrer die Automation schon ca. 3,5 Sekunden nach dem R2I aus, während sie bei den beiden anderen Tätigkeiten die Automation erst nach ca. 7 Sekunden beenden.

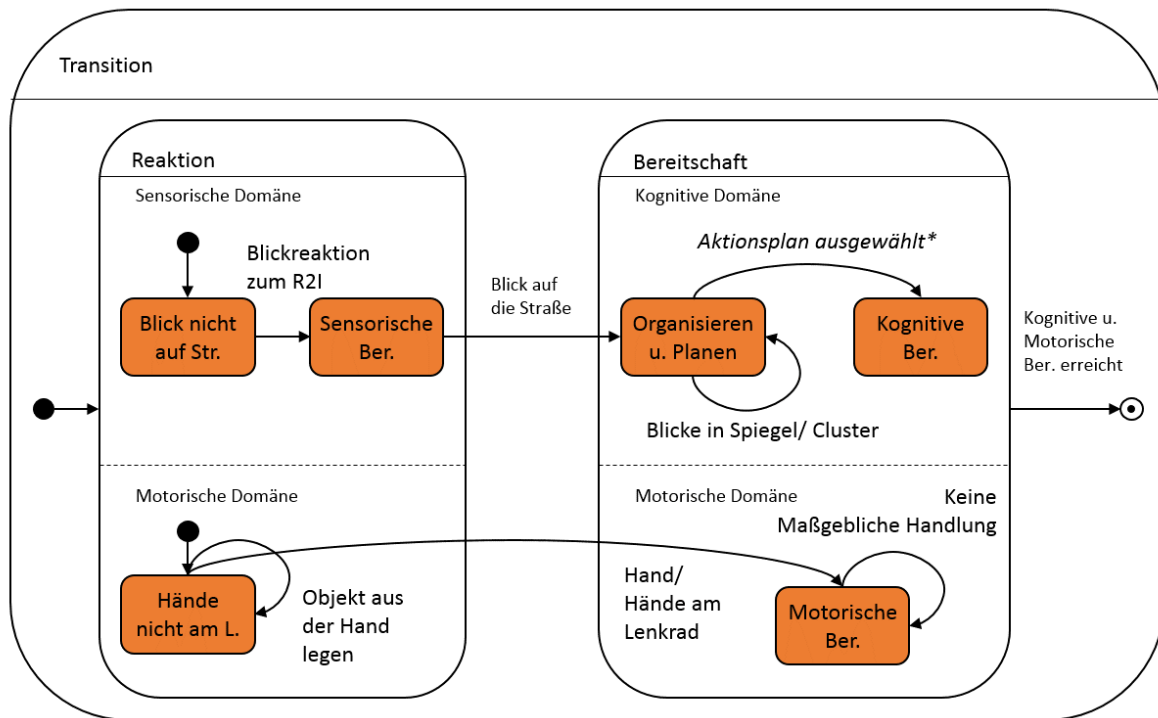


BR	Blick auf Straße	Aa	Automation ausgeschaltet
HaL	Hand am Lenkrad	BiS	Blick in Spiegel
FaP	Fuß am Pedal	BiC	Blick ins Cluster

Abbildung 157: Dargestellt sind Zeiträume der 90% Perzentile der Reaktionsmerkmale bei verschiedenen Tätigkeiten. Die Abläufe ähneln sich, jedoch unterscheiden sie sich deutlich in ihren zeitlichen Ausmaßen.

Nach dieser Modellierung typischer Fahrerreaktionen bzw. -handlungen bei der Übernahme sollen noch kurz die Fahrerezustände bei der Transition schematisch dargestellt werden. Die Diskretisierung der Zustände ist eine Vereinfachung, die möglicherweise in einer Detailbetrachtung so nicht zutrifft. Die vereinfachte Zustandsdarstellung ermöglicht aber die Struktur der Übernahmeaufgabe so zu konkretisieren, dass die Situation des Fahrers bei der Übernahme verfolgt werden kann. Dazu wird die prinzipielle Transitionsaufgabe in Reaktion und Bereitschaft getrennt, wobei die Reaktion eine Vorbedingung zur Herstellung der Bereitschaft darstellt. Um parallelen Verläufen in den verschiedenen Domänen Rechnung zu tragen, wird auch hier eine Gleichzeitigkeit durch die gestrichelte Linie dargestellt (siehe Abbildung 157). In den sensorischen Ebenen erfolgt die initiale Orientierungsreaktion auf den Stimulus, d.h. die Übernahmeaufforderung. Mit dem ersten, der Fahrsituation gewidmeten Blick ist die sensorische Bereitschaft hergestellt und es kann die Organisation und Planung in der kognitiven Domäne beginnen. Nun erfolgen möglicherweise verschiedene Blicke des Fahrers in die Fahrzeugumgebung, um schließlich zu einer Entscheidung zu kommen was zu tun ist. Damit wäre auch die kognitive Bereitschaft hergestellt. Ohne jedoch motorisch in der Lage zu sein den Plan auszuführen, kann die Intervention nicht beginnen. Die allgemeine Bereitschaft kann nur dann erfüllt sein, wenn auch in der motorischen Domäne Bereitschaft hergestellt ist. Hat der Fahrer mit beiden Händen das Lenkrad umgriffen und sind die Füße an den Pedalen, ist der Fahrer auch motorisch bereit die Fahraufgabe zu übernehmen. Hervorzuheben bleibt, dass die Herstellung der motorischen Bereitschaft parallel zur denen in den anderen Domänen stattfindet und dass sich die Bestimmung des Zustands der kognitiven Bereitschaft einer objektiven Messung oder Bewertung mit derzeitigen Mittel entzieht<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> Eine objektive Messung der kognitiven Bereitschaft wird wohl noch auf lange Sicht nicht verfügbar sein.



\* Entzieht sich der objektiven Beobachtung

Abbildung 158: Detailzustände des Fahrers bei der Übernahme nach dem R2I und vor der Intervention. Die Bereitschaften in der sensorischen und motorischen Domäne werden durch reflexhafte Reaktionen erlangt, deren Zeitdauern weitgehend unabhängig von der fahrfremden Tätigkeit vor dem R2I sind. Viele Aspekte der Bereitschaft in der kognitiven Domäne entziehen sich der objektiven Beobachtung.

### 3.3.3 UAP 3.3. Integration der Transitionskonzepte für HAF und deren Bewertung

#### 3.3.3.1 Reaktivierungskonzepte

Ein reaktivierender Einfluss unterschiedlicher fahrfremder Tätigkeiten konnte bereits in einigen Studien des UAP 3.2 gezeigt werden.

Basierend auf den Erkenntnissen des UAP 3.2 wurden Konzepte weiterentwickelt, um dem Einfluss spezifischer, ungünstiger Fahrzustände, wie z.B. Müdigkeit, entgegenwirken und somit eine möglichst hohe Übernahmeleistung sicherstellen zu können.

In einer Fahrstudie (N = 66) (siehe BMW Versuch 1) konnte keine längerfristige müdigkeitsreduzierende Wirkung durch unterschiedliche, fünfminütige Interventionen (z.B. Quiz, manuelles Fahren) festgestellt werden. Im Gegensatz dazu bestätigte eine Wizard-of-Oz-Studie (N = 19) erneut, dass motivierende fahrfremde Tätigkeiten in der Lage zu sein scheinen, ein höheres Aktivierungsniveau aufrecht zu erhalten (siehe BAST Versuch 1).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Kernaussagen des UAP 3.2 durch diese Studien grundsätzlich bestätigt wurden. Jedoch wurde auch deutlich, dass in der Konzeptauslegung berücksichtigt werden sollte, dass allein durch den Einsatz von fahrfremden Tätigkeiten dem Fahrzustand Schläfrigkeit / Müdigkeit nicht dauerhaft entgegengewirkt werden kann. Das Wissen um den Fahrzustand kann jedoch genutzt werden, um die Transition möglichst sicher und akzeptabel zu gestalten.

#### 3.3.3.2 Entwicklung, Integration und Bewertung von Transitionskonzepten

Des Weiteren wurden im Rahmen des UAP3.3 verschiedene Transitionskonzepte für eine hochautomatisierte Fahrfunktion (L3 nach SAE) entwickelt. Der Fokus dieser Konzepte lag auf



der Rückdelegation der Fahraufgabe an den Fahrer. Anforderungen an generische Übernahme-konzepte wurden bereits in UAP 3.1.3 definiert. Zum Beispiel muss das HMI die System-zustände „System nicht verfügbar“, „System verfügbar“, „System aktiv“ und „Übernahmeauf-forderung“ rückmelden. Zudem wurde partnerübergreifend festgelegt, dass zeitkritische Über-nahmeaufforderungen multimodal (mindestens visuell und akustisch) auszulegen sind, um de-ren Wahrnehmbarkeit zu verbessern.

Die Transitionskonzepte wurden für verschiedene Situationsbedingungen und Fahrerzustände entwickelt und optimiert. Diese können folgenden Grobkategorien zugeordnet werden:

- Transitionskonzepte für dringliche und zeitkritische Übernahmesituationen
- Mehrstufige Transitionskonzepte für (zunächst) zeitunkritische Übernahmesituationen

Die in UAP 3.3 entwickelten Transitionskonzepte wurden sowohl in Fahrsimulator- als auch in Realfahrzeugstudien untersucht.

### 3.3.3.3 Transitionskonzepte für dringliche und zeitkritische Übernahmesituationen

Es wurden verschiedene Transitionskonzepte entwickelt, um den Nutzer einer hochautomati-sierten Fahrfunktion möglichst gut in einer dringlichen und zeitkritischen Übernahmesituation zu unterstützen. Der Fokus lag daher auf der Gestaltung des Rtl. In diesem Kontext wurde der Einfluss verschiedener Modalitäten, Anzeigekonzepte (mit und ohne Head-Up Display) sowie die Wirksamkeit einer zustandsadaptiven Rtl-Gestaltung untersucht.

#### **Modalität**

In einer Fahrsimulatorstudie (N=69) (siehe BMW Versuch 2) wurden eine auditive und eine visuelle Variante mit einer Baseline Bedingung (Earcon + Anzeige im Kombidisplay „Selbst Fahren – Gefahr voraus“) verglichen.

- Auditiv: Der Rtl wurde in Form einer Sprachausgabe („Selbst fahren – Gefahr voraus“) ausgegeben, die auch den Grund der Übernahme beinhaltete. Zusätzlich war ein Ear-con als Warnton vorgeschaltet.
- Visuell: Der Rtl war mittels einer LED-Leiste umgesetzt, die vor dem Fahrer an der Scheibenwurzel verlief. In der Übernahmesituation blinkte diese rot. Der beleuchtete Abschnitt markierte dabei den Ort der Ursache für die Übernahme und sollte helfen, den Blick in Richtung Gefahrenstelle zu lenken. Zusätzlich war ein Earcon als Warnton vor-geschaltet.

Alle Versuchsteilnehmer bearbeiteten eine monotone und dadurch ermüdende Aufgabe und erlebten zwei Übernahmesituationen nach 40 bzw. 58 Minuten. Die Ergebnisse spiegeln ein relativ konsistentes Bild wider: Die Variante LED zieht fast durchgehend die schnellsten Re-aktionszeiten nach sich. Bei der Variante Sprache ergeben sich tendenziell die langsamsten Reaktionszeiten. Dies kann möglicherweise auch auf die Länge der Sprachausgabe zurück-geführt werden.

#### **Anzeigekonzepte**

Als Anzeige des optimierten HMIs wurde das Head-Up Display gewählt, da Blickabwendungs-zeiten minimiert und Reaktionszeiten auf unerwartete Verkehrereignisse verkürzt werden (Gish & Staplin, 1995)<sup>22</sup>. Als zusätzlicher Inhalt der Anzeige wurde der Grund für die Übernah-meaufforderung integriert. Dies basierte auf folgenden Erkenntnissen:

- Ein hochautomatisiertes System sollte generell die Gründe für sein Verhalten vermitteln (Koo et al., 2015)<sup>23</sup>.

---

<sup>22</sup> Gish, K.W. & Staplin, L. (1995). Human Factors Aspects of Using Head Up Displays in Automobiles: A Review of the Literature.

<sup>23</sup> Koo, J., Kwac, J., Ju, W., Steinert, M., Leifer, L. & Nass, C. (2015). Why did my car just do that? Explaining semi-autonomous driving actions to improve driver understanding, trust, and performance. *International Journal on Inter-active Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 9 (4), 269–275.

- Systemgrenzen sollten erklärt werden (u. a. Martens & van den Beukel, 2013)<sup>24</sup>.
- Die Erklärbarkeit einer Situation sollte unterstützt werden (Prasch & Tretter, 2016)<sup>25</sup>.

Die Visualisierung der Systemgrenze wurde durch Distanzangaben und Pfeilspitzen (kontaktanalog – HUD) umgesetzt. Ein sicherheitsrelevanter Vorteil besteht hierbei vor allem in der Präsentation von Informationen, die eine direkte Zuordnung zur Umgebung erlauben (Bubb & Reichart, 1992)<sup>26</sup>.

Die Ergebnisse des Fahrsimulatorversuchs (N = 40) (TUM Versuch 1) zeigen, dass ein generisches HMI nicht ausreichend ist, um Übernahmen für die Nutzer ansprechend zu gestalten. Obwohl hinsichtlich der objektiven Übernahmeleistung keine Unterschiede auftraten, zeigte dieser Versuch, dass ein nutzerzentriertes Vorgehen bei der Gestaltung von Übernahmeaufforderung und unterstützendem HMI unerlässlich für die Akzeptanz und damit für den Erfolg der Automation an sich ist.

Die folgenden Abbildungen zeigen das finale, optimierte HMI kurz vor Erreichen der Systemgrenze.

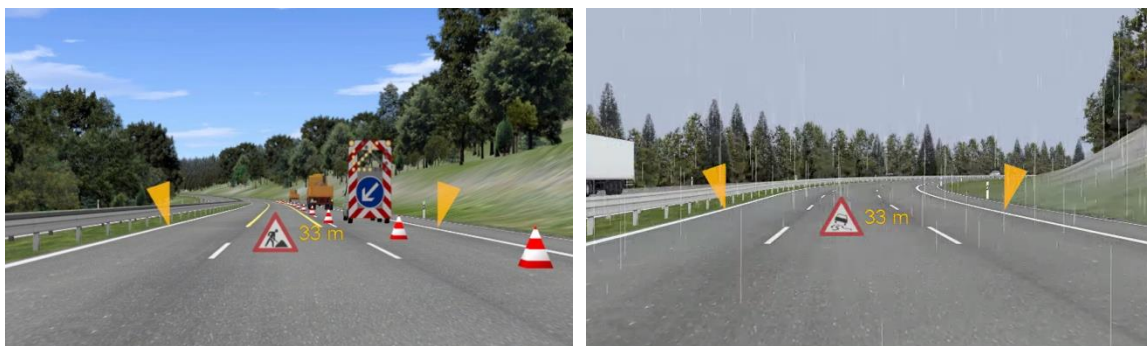


Abbildung 159: HMI Konzept in beiden Situationen eine Sekunde vor Erreichen der Systemgrenze.

### Zustandsadaptivität

Studie WIVW Versuch 1 (N = 58) untersuchte die Anpassung der Dringlichkeit von Übernahmeaufforderungen an den Fahrerzustand. Dafür wurden starre Transitionskonzepte mit solchen verglichen, die die Verfügbarkeit des Fahrers berücksichtigen. Die Anpassung der Dringlichkeit von Übernahmeaufforderungen an den Fahrerzustand zeigte in der Studie keinen deutlichen Vorteil gegenüber invariablen Warnungen. Allerdings bewirkte sie insgesamt ausgeglichene Übernahmezeiten und etwas höhere Akzeptanzbeurteilungen. Die Wirksamkeit und Akzeptanz adaptiver Transitionskonzepte beim Übergang von hochautomatisiertem zu manuellem Fahren stand in einer weiteren Fahrsimulatorstudie (WIVW Versuch 2) im Vordergrund. Variiert wurden einerseits die Anzahl der zur Unterbrechung der fahrfremden Tätigkeit erforderlichen Handlungsschritte und andererseits das zur Verfügung stehende Zeitbudget. Es wurden kompatible Kombinationen aus Zeitbudget und Unterbrechungsaufwand (d.h. längeres Zeitbudget bei größerem Aufwand bzw. kürzeres Zeitbudget bei geringerem Aufwand) mit inkompatiblen Kombinationen verglichen (d.h. längeres Zeitbudget bei geringerem Aufwand bzw. kürzeres Zeitbudget bei größerem Aufwand). Es zeigte sich, dass beide Manipulationen einen deutlichen Einfluss auf objektive Fahrdaten und subjektive Urteile hatten: Sowohl erhöhter Unterbrechungsaufwand als auch größeres zur Verfügung stehendes Zeitbudget gingen mit verlängerten Übernahmezeiten und kürzeren minimalen Time-to-Collision-Werten einher. Darüber hinaus adaptierten Fahrer bei hohem Unterbrechungsaufwand an das Zeitbudget: Sie übernahmen bei kurzer Restzeit schneller als bei längerer Restzeit. Zusätzlich wurde deutlich,

<sup>24</sup> Martens, M. H. & van den Beukel, A. P. (2013). The road to automated driving: Dual mode and human factors considerations. Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013), 2262–2267.

<sup>25</sup> Prasch, L. & Tretter, S. (2016). Ich bin dann mal raus. Erklärbares Automationsverhalten und Vertrauen. Mensch und Computer 2016 – Kurzbeiträge, 4. - 7. September 2016, Aachen.

<sup>26</sup> Bubb, H. & Reichart, G. (1992). Braucht man HUD's im Kraftfahrzeug? Ergebnisse einer Literaturrecherche und eigener Versuche. VDI-Berichte (948), 101–125.

dass Durchgänge mit kompatibler Paarung aus Warnzeitpunkt und Unterbrechungsaufwand höhere Akzeptanz erzielen als inkompatible Paarungen.

### 3.3.3.4 Mehrstufige Transitionskonzepte für zunächst zeitunkritische Übernahme-situationen

Basierend auf der Annahme, dass mit einer optimierten Fahrerbeobachtung die Fahrer-  
verfügbarkeit beziehungsweise die benötigte Übernahmezeit vorhergesagt werden kann, wurde ein  
mehrstufiges Übernahmekonzept entwickelt. Denn durch das mehrstufige Übernahmekonzept  
ist es möglich, in Abhängigkeit der geschätzten Übernahmezeit die Dringlichkeit der Übernah-  
meaufforderung anzupassen. Dies wiederum kann die Systemakzeptanz positiv beeinflussen.

Abbildung 160 veranschaulicht die konzeptionelle Überlegung eines mehrstufigen Transitions-  
konzepts:

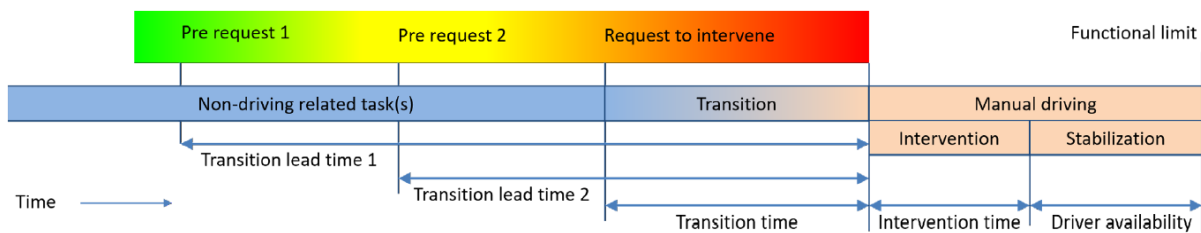


Abbildung 160: Die Übernahmeaufforderung erstreckt sich über die fahrfremden Tätigkeiten und die Transition und endet in der manuellen Fahrtätigkeit. Die mehrstufige Übernahmeaufforderung ermöglicht eine komfortable und gleichzeitig sichere Herstellung der Bereitschaft zur Intervention.

Bis hierher wurde von einem einzigen Zeitpunkt ausgegangen, an dem der Request to Intervene ausgegeben wird. Aus praktischen Überlegungen ergibt sich jedoch ein Dilemma, dass nur dadurch gelöst werden kann, indem der Request zeitlich verteilt und seine vermittelnde Dringlichkeit mit der Zeit zunimmt. Die Überlegungen sind wie folgt:

Ausgangssituation ist das plötzliche Auftreten einer Funktionsgrenze. Ist nun über den Fahrerzustand nichts bekannt, muss eine Zeit für die Transition (TZ) anberaumt werden, die wahrnehmungsbereiten Fahrern in vielen möglichen Zuständen und mit verschiedensten fahrfremden Tätigkeiten ausreichend Zeitreserve bietet, um für die Durchführung der Intervention bereit zu werden (§1 a Absatz 2 Satz 5 StVG<sup>27</sup>). Dieser Zeitraum kann womöglich sehr groß werden, da er sich am „worst-case“ orientieren muss. Fahrer könnten ein derartiges Systemverhalten als nicht akzeptabel bewerten, da sie zu „früh“ aus der fahrfremden Tätigkeit „geholt“ werden. Besitzt das Übergabesystem hingegen umfassende Information über den Fahrerzustand und möglicherweise Fahrertyp, kann situationsabhängig die Transitionszeit angepasst werden und würde i.A. zu kürzeren und akzeptableren Transitionszeit führen.

Das Dilemma ergibt sich hier nun aus dem gleichzeitigen Anstreben von hoher Systemakzeptanz bei gleichzeitiger Minimierung eines Risikos bei der Übergabe. Von der Herstellerseite ist die Akzeptanz gerade von neuen Systemen und Technologien bei der Einführung wichtig. Möchte man nun die Systemakzeptanz für den Fahrer erhöhen, vergrößert man gleichzeitig aber das Risiko für den Fahrer die Intervention nicht erfolgreich abzuschließen zu können, sollte

- a) der Fahrer doch einmal länger für die Transition brauchen als geplant oder wenn
- b) plötzlich das Interventionsmanöver mehr Zeit beansprucht, weil z.B. ein Fahrzeug auf die Spur einschert.

In beiden Ausnahmefällen verstreichen wertvolle Sekunden für eine frühzeitige Übernahme zugunsten einer höheren Systemakzeptanz<sup>28</sup>. Wünschenswert wäre aber eine hohe

<sup>27</sup> Bundesgesetzblatt Teil I 2017 Nr. 38 vom 20.06.2017 Achstes Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes

<sup>28</sup> Diese hätte möglicherweise auch ethische Probleme zu Folge.

Systemakzeptanz zu erzielen, die es gleichzeitig erlaubt in Ausnahmesituationen, wie oben beschrieben, das Risiko einer zu späten und unvollständigen Übernahme zu minimieren.

Ein zeitlich verteilter Request to Intervene mit z.B. drei diskreten Stufen könnte hier eine Lösung bieten. In

- a) Stufe 1 wird auf der Grundlage einer konservativ geschätzten Übernahmezeit der R2I mit leichter Dringlichkeit signalisiert.
- b) Stufe 2 bei geringer Übernahmezeit mit erhöhter Dringlichkeit signalisiert.
- c) Stufe 3 bei optimaler Übernahmezeit mit maximaler Dringlichkeit signalisiert.

Die Übernahmezeit wird in Stufe 2 bzw. 3 aktualisiert, sollte z.B. sich die Interventionszeit vergrößern. Mit Sensoren eines Level 2 Systems könnte nach jeder Stufe geprüft werden, ob der Fahrer die Transition begonnen hat. Eine frühzeitige Übernahme durch den Fahrer, d.h. die Abschaltung der Level 3 Automation, könnte die ausstehenden Signalisierungen unterdrücken.

Unsichere oder vorsichtige Fahrer würden schon auf den ersten beiden Stufen reagieren und übernehmen. Erfahrene Fahrer könnten die ersten beiden gering-dringlich signalisierten Stufen als nicht handlungsrelevant ignorieren oder sie als Hinweis aufnehmen, keine neue fahrfremde Unteraufgabe zu beginnen oder die anstehende Aufgabe zügig zu beenden. Diese Fahrer reagieren dann erst auf die letzte Aufforderung aber vorbereitet und der Request „fällt nicht aus dem Himmel“. Damit könnte eine hohe Systemakzeptanz und gleichzeitig eine sichere Übernahme erzielt werden. Eventuelle Vergrößerungen der Interventionszeit würden mit jeder Stufe aktualisiert und damit das Risiko einer Fehlschätzung von vor dem R2I verringert.

Für die Integration der Transitionskonzepte für HAF wurden Blickverhaltensparameter des Probanden / Fahrers mit dem Ziel untersucht, deren Aussagekraft für die Optimierung der Fahrerverfügbarkeitsschätzung zu prüfen. Alle fünf Studien haben gezeigt, dass das Blickverhalten von der Art der ausgeführten fahrfremden Tätigkeit beeinflusst wird. Eine große Auswirkung des Blickverhaltens auf die Übernahmeleistung des Fahrers wurde jedoch nicht festgestellt (Abbildung 153, Abbildung 154). Der Schlusssatz basiert auf den beobachteten Übernahmezeiten (ca. 3 sec) (Abbildung 140, Abbildung 142, Abbildung 143, Abbildung 147, Abbildung 148) und auf der Übernahmegüte (mit mittleren Abweichungen zur Spurmitte, die immer noch innerhalb der Spurbreite liegen) nach der Übernahmeanforderung für die Situation „Fehlende Spurmarkierungen und Seitenwind“ (Abbildung 141). Diese vor allem auf Blickparameter der Probanden ausgerichtete Auswertung der Daimler AG dient in Form von drei Clustern aus realen Daten der Optimierung der Visteon ADAS Steuereinheit, die im Demonstrator von Visteon erlebbar gemacht wurde.

In einer Fahrsimulatorstudie mit 36 Probanden (Studie Opel) wurden drei Konzepte implementiert und empirisch evaluiert:

- Basic HMI: Entfernung bis zur geplanten Übernahme wird in Vorschau (Mittelkonsole) angezeigt. Unspezifische Übernahmeanforderung (Icon + Ton), ausgelöst 6 Sekunden vor Erreichen der Systemgrenze.
- Situationsadaptives HMI (siehe Abbildung 161: Vorschau enthält zusätzlich den Grund für Übernahme (z.B. Baustelle, Unfall)). Explizite Vorankündigung einer Übernahme („Take-Over Notification“) durch Anzeige und Sprachausgabe 60 Sekunden vor Erreichen der Systemgrenze. Dem Fahrer steht eine Anzeige des umgebenden Verkehrs zur Verfügung (Umfeldmodell).
- Situations- und fahreradaptives HMI: Situationsadaptivität (siehe oben). Bei geringer Fahrerverfügbarkeit (erkannt durch Fahrerbeobachtung): Einleitung weiterer Warnstufen.



Abbildung 161: Links: Statusanzeigen und Umfelddarstellung im Kombiinstrument, Rechts: Vorschau über bevorstehende Übernahmesituationen im Mitteldisplay.

Die deskriptive Analyse der langfristigen Übernahmesituationen zeigte ein frühzeitigeres Beenden der fahrfremden Tätigkeit (siehe Abbildung 162) und eine beschleunigte Übernahme der Fahrzeugkontrolle bei den adaptiven HMIs im Vergleich zum Basic HMI. Beim situations- und fahreradaptiven HMI erlebten die Fahrer eine zweite Vorankündigung 30 Sekunden vor der Systemgrenze, wenn sie die Tablet-Aufgabe nicht bereits beendet hatten. Diese zweite Warnung erwies sich als sehr effektiv: Alle Fahrer übernahmen hier die Fahrzeugkontrolle rechtzeitig vor dem Erreichen der Übernahmesituation.

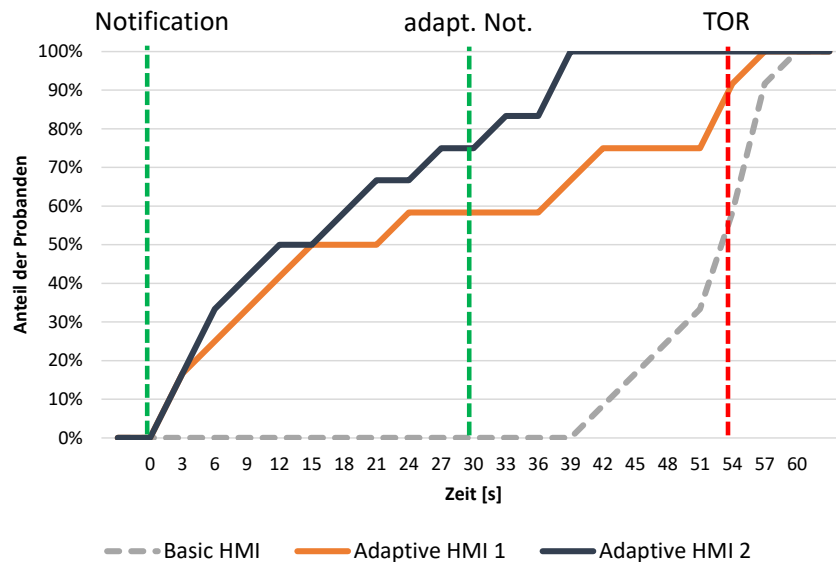


Abbildung 162: Beendigung der Tablet-Aufgabe (Situation: Pannenfahrzeug) im Zeitverlauf für die einzelnen HMI-Varianten (kumulierte Häufigkeit).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass Fahrer von einer mehrstufigen Warnstrategie mit mindestens einer expliziten Vorankündigung profitieren, wenn eine geplante (z.B. durch den Safety Server vorhersehbare) Übernahmesituation bevorsteht.

In einer weiteren Fahrsimulatorstudie (N = 24) wurde der Einfluss der Umfelddarstellung auf das Übernahmeverhalten untersucht. Für den Erstkontakt bei einer Vorlaufzeit von 60 Sekunden zeigte sich, dass die Fahrer mit Umfelddarstellung signifikant schneller die Kontrolle übernahmen. Dies ist möglicherweise auf ein verbessertes Situationsbewusstsein zurückzuführen. Zudem zeigte sich, dass die Umfeldanzeige subjektiv als sehr nützlich eingestuft wurde. In einer deskriptiven Rangreihe lag diese auf dem zweiten Platz direkt hinter der Vorschauanzeige. Hinsichtlich subjektiven Vertrauens in die Automation und Akzeptanz gab es allerdings keinen Unterschied zur Kontrollgruppe.

### 3.3.3.5 Fazit

Die verschiedenen entwickelten Transitionskonzepte zeigen, dass unterschiedliche Faktoren, wie z.B. die Dringlichkeit der Übernahmesituation, die Gestaltung des Rtl sowie den Ablauf



des Transitionsprozesses beeinflussen können. Insbesondere wenn Übernahmesituationen im Voraus bekannt sind, kann ein mehrstufiges Transitionskonzept hilfreich sein, um das Dilemma aus Systemakzeptanz und Verkehrssicherheit zu lösen.

### 3.3.3.6 Übersicht der Studien im UAP3.3. zur Untersuchung der optimierten Transitionskonzepte

#### 3.3.3.6.1 BMW Versuch 1 – Gezielte Unterbrechung der hochautomatisierten Fahrt durch aktive / passive Aktivitäten

##### 3.3.3.6.1.1 Fotodokumentation

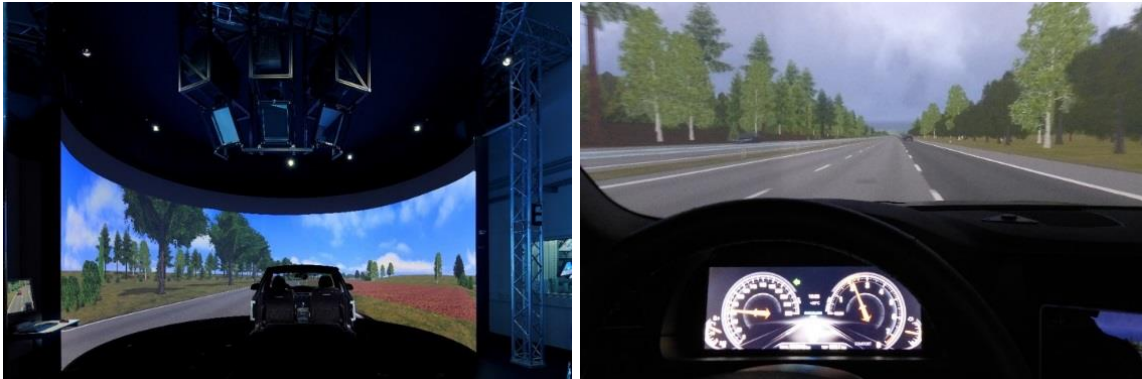


Abbildung 163: Statischer Simulator der BMW AG und Blick vom Fahrerplatz auf die Fahrscene im statischen Simulator.

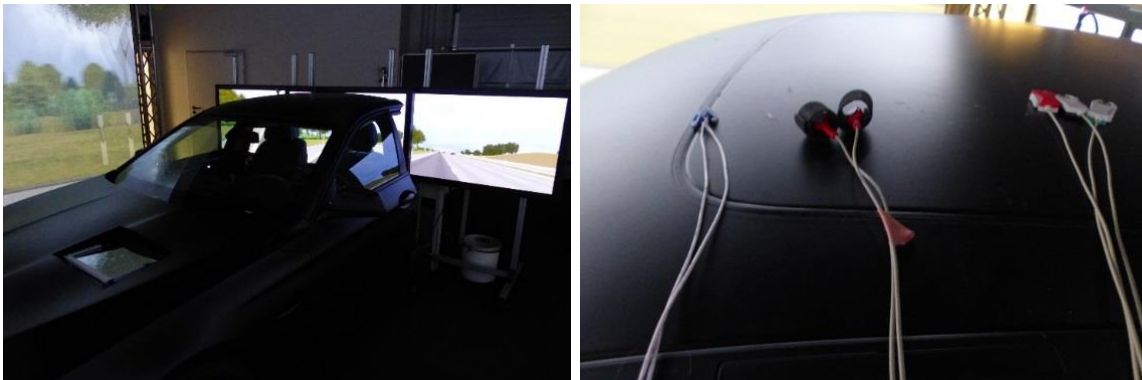


Abbildung 164: Mock-Up mit Plasmabildschirmen als Rückkanäle und Sensoren für die Messung physiologischer Parameter (EKG, EDA, EOG).

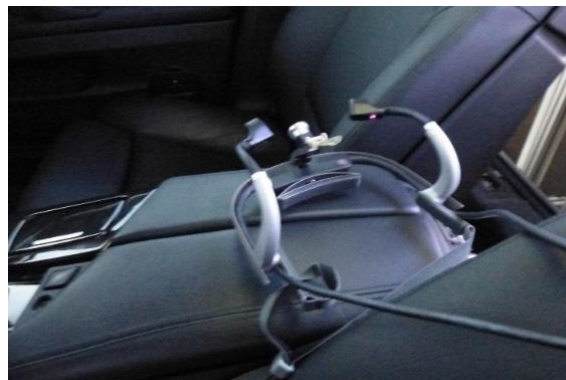


Abbildung 165: Eyetracker Dikablis.



Subjektive Daten			Objektive Daten
VORBEFRAGUNG	WÄHREND DER FAHRT IN ~ 15' INTERVALL	NACHBEFRAGUNG	WÄHREND DER FAHRT
Soziodemographische Daten	KSS	KSS	Fahrdaten
Gesundheit & Fitness	NACH TOR	Wahrnehmung des TOR	Herzfrequenz
Schlafgewohnheiten	KSS	Erleben des TOR	Galvanic Skin Response
Karolinska Sleepiness Scale (KSS; Åkerstedt and Gillberg 1990)	Kritikalität der Situation (Neukum & Krüger, 2003)	Schwierigkeiten beim TOR	„PERCLOS“
Erfahrung mit FAS & Fahrstil- und Fahrkönnen	Eigeneinschätzung der Situationsbewältigung	Bewertung der Intervention/ Nicht-Intervention	Elektrookulografie

Abbildung 166: Übersicht der erhobenen Daten.

### 3.3.3.6.1.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	06.12. – 21.12.2017
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände / öffentl. Gelände)):	Statischer Fahrsimulator
Stichprobengröße:	N = 66
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	Mitarbeiter BMW (intern und extern; z.B Bertrand etc.)
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	Vgl. Ko-HAF 3, 50 min HAF-Fahrt, nach 50 min kritische Übernahme; 3 spurige AB; max. 130km/h, wenige Verkehr. Nach 17 bzw. 32 Minuten wurden Probanden aufgefordert für 5 Minuten eine bestimmte Aktivität (sog. „Intervention“) durchzuführen.
Beschreibung Übernahmeszenario:	Vgl. Ko-HAF 3, Unfall auf eigener Spur ganz rechts, zwei Fzg. auf mittlerer (Ausweich-)Spur im Abstand von 100m zueinander
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	hochkritisch
Zeitbudget:	TTC = 7s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Eingewöhnungsfahrt mit kritischer Übernahme, drei Übernahmen in Eingewöhnung (Knopf, Lenken, Bremsen)
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	1
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	50 min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	Rotes Lenkradsymbol, Warnton
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Bremsen, Lenken, Knopfdruck
Systemverhalten nach TOR:	Verzögerung mit Schleppmoment, keine Querregelung

### 3.3.3.6.1.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Kann das Unterbrechen der hochautomatisierten Fahrt die Müdigkeitsentwicklung des Fahrers reduzieren? Lässt sich der Fahrerzustand während einer längeren hochautomatisierten Fahrt durch gezielte Unterbrechung durch aktive oder passive Aktivitäten (sog. Interventionen) positiv beeinflussen?
Unabhängige Variablen:	Art der Intervention (Between): 4 Gruppen: - Baseline ohne Intervention - Manuelles Fahren (2 x 5 min) - Quiz (2 x 5 min) - Podcast (2 x 5 min)
Abhängige Variablen:	Fahrerzustand: PERCLOS, physiolog. Daten, subjektive Müdigkeit (KSS)
Hauptergebnisse:	Tendenziell höchste Müdigkeitswerte vor TOR in der Baseline-Bedingung, aber kein signifikanter Effekt der Intervention. In allen Bedingungen nimmt die Müdigkeit bis vor dem TOR zu. Erst der TOR zeigt eine müdigkeitsreduzierende Wirkung. Diese zeigt sich jedoch unabhängig von den erlebten Interventionen.
Fazit aus Studie	Keine längerfristige müdigkeitsreduzierende Wirkung durch Interventionen.
Fragestellung 2:	Welchen Einfluss haben gezielte Unterbrechungen der hochautomatisierten Fahrt durch aktive oder passive Aktivitäten (sog. Interventionen) auf die Übernahmeleistung (Reaktionszeiten, Qualität)?
Unabhängige Variablen:	Art der Intervention (Between): 4 Gruppen: - Baseline ohne Intervention - Manuelles Fahren (2 x 5 min) - Quiz (2 x 5 min) - Podcast (2 x 5 min)
Abhängige Variablen:	Übernahme: Reaktionszeiten, Qualitätsmaße
Hauptergebnisse:	Die Interventionen haben keinen längerfristigen Einfluss auf die Reaktionszeiten und Übernahmeleistung der Fahrer.
Fazit aus Studie für	Die Interventionen haben keinen langfristigen Einfluss auf die Übernahmeleistung und tragen somit nicht zusätzlich zur Sicherheit während einer kritischen Übernahmesituation bei.

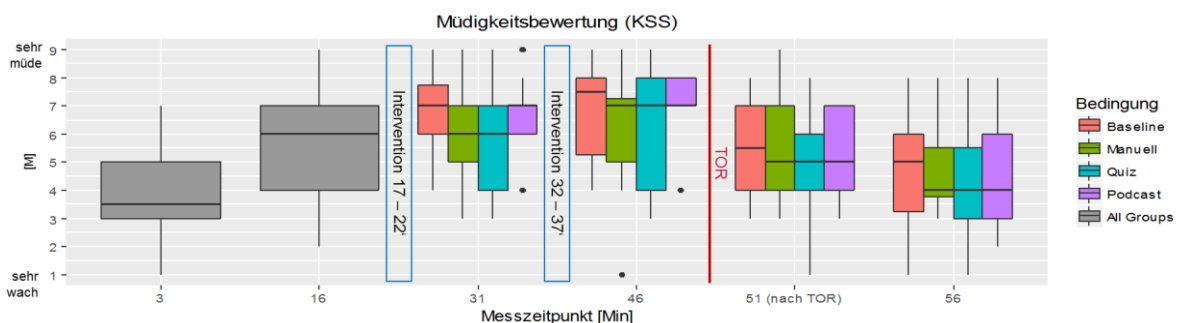


Abbildung 167: Verlauf der subjektiven Müdigkeitsbewertung.

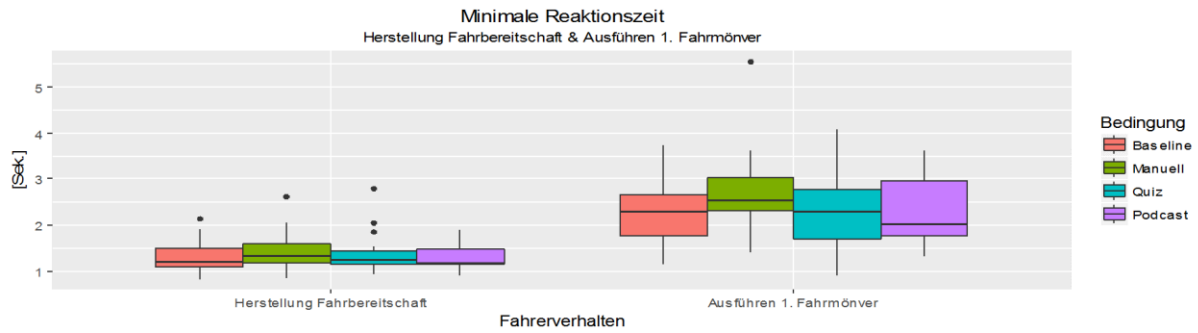


Abbildung 168 Reaktionszeiten bis Herstellung Fahrbereitschaft (Hands-on oder Bremspedalberührung) und Ausführen des 1. Fahrmanövers (Bremspedalstellung >10% oder Lenkwinkeländerung >2°).

### 3.3.3.6.2 BMW Versuch 2 – Übernahmesituationen mit ermüdeten Fahrern

#### 3.3.3.6.2.1 Fotodokumentation



Abbildung 169: Dynamischer Simulator der BMW AG und Innenraumansicht mit „pqpd“-Aufgabe.



Abbildung 170: Übernahmesituation „Ausweichen“ und Übernahmesituation „Bremsen“.

<p>Sprache</p>	<p>LED</p>	<p>Text</p>
<p><b>TOR mit Sprache (N=22):</b></p> <p><b>Akustik</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Earcon.</li> <li>• Sprachausgabe „Selbst fahren! Gefahr voraus!“</li> </ul> <p><b>Anzeige im Kombi</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Roter Text „Gefahr voraus“.</li> <li>• Rotes Lenkrad-Icon mit Händen.</li> </ul>	<p><b>TOR mit LED-Blitzlicht (N=21):</b></p> <p><b>Akustik</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Earcon.</li> </ul> <p><b>Anzeige untere Kante Frontscheibe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rote LED-Leiste.</li> <li>• Relevanter Bereich blitzt auf (bis zu 7x).</li> </ul> <p><b>Anzeige im Kombi</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Roter Text „Gefahr voraus“</li> <li>• Rotes Lenkrad-Icon mit Händen.</li> </ul>	<p><b>TOR mit Text (N=21):</b></p> <p><b>Akustik</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Earcon.</li> </ul> <p><b>Anzeige im Kombi</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Roter Text „Selbst fahren!“</li> <li>• Roter Text „Gefahr voraus!“</li> <li>• Rotes Lenkrad-Icon mit Händen.</li> </ul>

Abbildung 171: ABK-Varianten (Rtl).

### 3.3.3.6.2.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Juni 2018
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Dynamischer Fahrsimulator BMW
Stichprobengröße:	64 Probanden
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	BMW Mitarbeiter
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.)	Fahrt auf einer dreispurigen Autobahn mit Standstreifen, v = 130km/h, geringe – mittlere Verkehrsdichte (vgl. Ko-HAF 3). Insgesamt 60 Minuten HAF-Fahrt, nach 40 Minuten und 58 Minuten jeweils kritische Übernahme-situation
Beschreibung Übernahmeszenario:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Situation: Unfall auf Egospur. Ein Transporter fährt dicht auf das Fahrzeug des Probanden auf. Kein Fremdverkehr auf der mittleren Spur. In dieser Situation ist <b>Ausweichen</b> die naheliegende Strategie.</li> <li>2. Situation: Unfall auf Egospur. Hinter dem Probanden befindet sich kein weiterer Verkehrsteilnehmer. Fahrzeugkolonne auf der mittleren Spur. In dieser Situation ist <b>Stehenbleiben</b> die naheliegende Strategie.</li> </ol>
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Unfall auf Ego-Spur → dringlich, nicht präzifizierbar, kritisch, komplex
Zeitbudget:	7s (ttc)
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Erklärung HAF inkl. Systemgrenzen, Eingewöhnungsfahrt inkl. Übernahmen (Lenken, Bremsen Knopfdruck)
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	1
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	ca. 60 min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	3 Varianten (siehe Abbildung 171):

	Bei allen Varianten: Akustisches Warnsignal, Anzeige im Kombi (rotes Lenkradsymbol + Text „Gefahr voraus“)
	Variante „Sprache“: zusätzlich Sprachausgabe „Selbst fahren! Gefahr voraus!“
	Variante „LED-Leiste“: LED-Leiste an der unteren Kante der Frontscheibe. Relevanter Bereich der LED-Leiste blitzt rot auf (bis zu 7x)
	Variante „Text“: Baseline-Bedingung, zusätzlicher Text im Kombi „Selbst Fahren!“
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Bremsung, Lenkung, Knopf am Lenkrad
Systemverhalten nach TOR:	Verzögerung mit Schleppmoment, keine Querregelung

### 3.3.3.6.2.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung 1:	Einfluss unterschiedlicher Anzeige-Bedien-Konzepte auf die Übernahmeleistung bei ermüdeten Fahrern
Unabhängige Variablen:	ABK Variante (Sprache, LED, Text)
Abhängige Variablen:	Reaktionsszeiten, Übernahmequalität, qualitatives Feedback zu den HMI-Konzepten
Hauptergebnisse:	Die Variante LED schneidet am besten ab und zieht fast durchgehend die schnellsten Reaktionszeiten nach sich. Die Variante Sprache zieht dagegen die langsamsten Reaktionszeiten nach sich.
Fazit aus Studie:	Mit Hilfe einer LED-Leiste können ermüdete Fahrer die Situation sehr schnell erfassen und schnell reagieren. Die Sprachausgabe war evtl. zu lang.
Fragestellung 2:	Einfluss unterschiedlicher Anzeige-Bedien-Konzepte auf das Blickverhalten in der Übernahmesituation bei ermüdeten Fahrern
Unabhängige Variable:	ABK Variante (Sprache, LED, Text)
Abhängige Variablen:	Blickverhalten
Hauptergebnisse:	In der ersten Übernahmesituation ist der häufigste Ort des ersten Blickes das Kombiinstrument. Nur wenige Probanden blicken nach der Übernahmeaufforderung als erstes auf die Straße. In der zweiten Übernahmesituation geht der erste Blick – sowohl bei der LED- als auch bei der Text-Variante bei deutlich mehr Probanden auf die Straße. Es fällt auf, dass Personen mit der LED-Variante deutlich kürzer in das Kombiinstrument blicken als die anderen Teilnehmer. Die Unterschiede der LED-Variante zu den anderen Varianten sind statistisch signifikant.
Fazit aus Studie:	Auch bei der LED-Variante blicken die Teilnehmer in das Kombiinstrument, allerdings sind diese Blicke deutlich kürzer als bei den anderen Konzepten. Die LED-Leiste kann dazu genutzt werden, um den Blick des Fahrers schnell auf eine Gefahrensituation zu lenken.

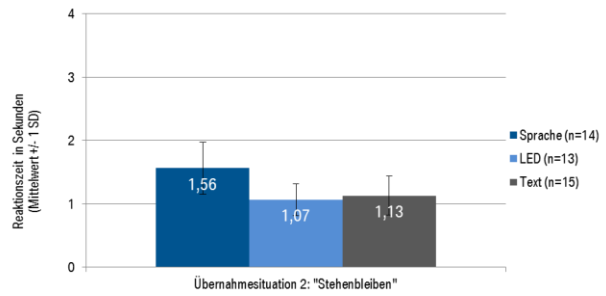
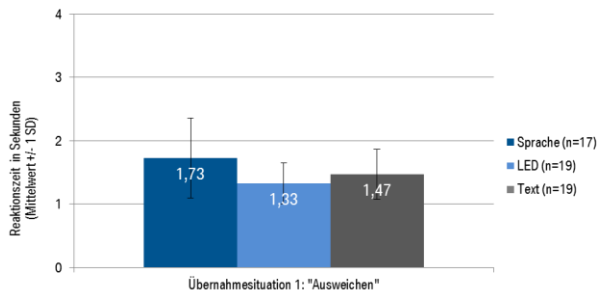


Abbildung 172: Reaktionszeit Hands-On.

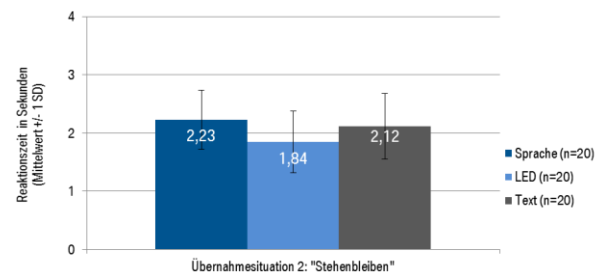
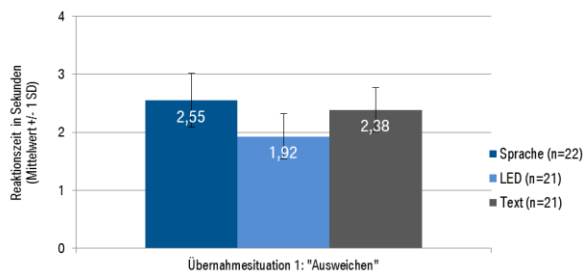


Abbildung 173: Reaktionszeit erstes Fahrmanöver.

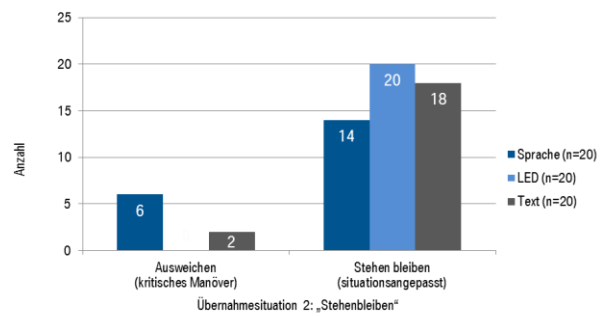
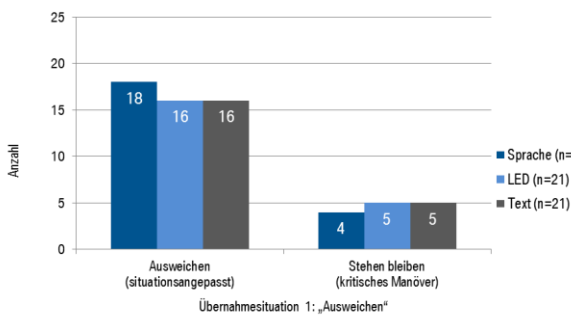


Abbildung 174: Darstellung der Art der Bewältigung (Ausweichen vs. Stehenbleiben) in den beiden Übernahmesituationen.

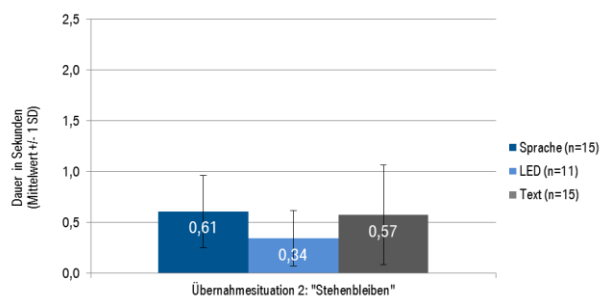
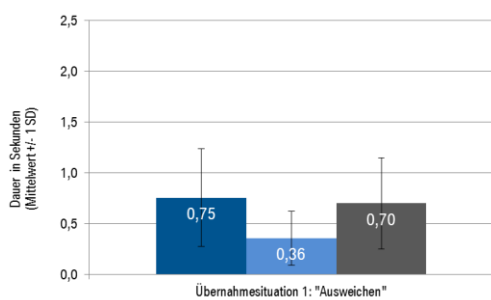


Abbildung 175: Dauer des ersten Blicks ins Kombi-Instrument.



### 3.3.3.6.3 BAST Versuch 1 – Einfluss fahrfremder Tätigkeiten auf das Aktivierungsniveau

#### 3.3.3.6.3.1 Fotodokumentation

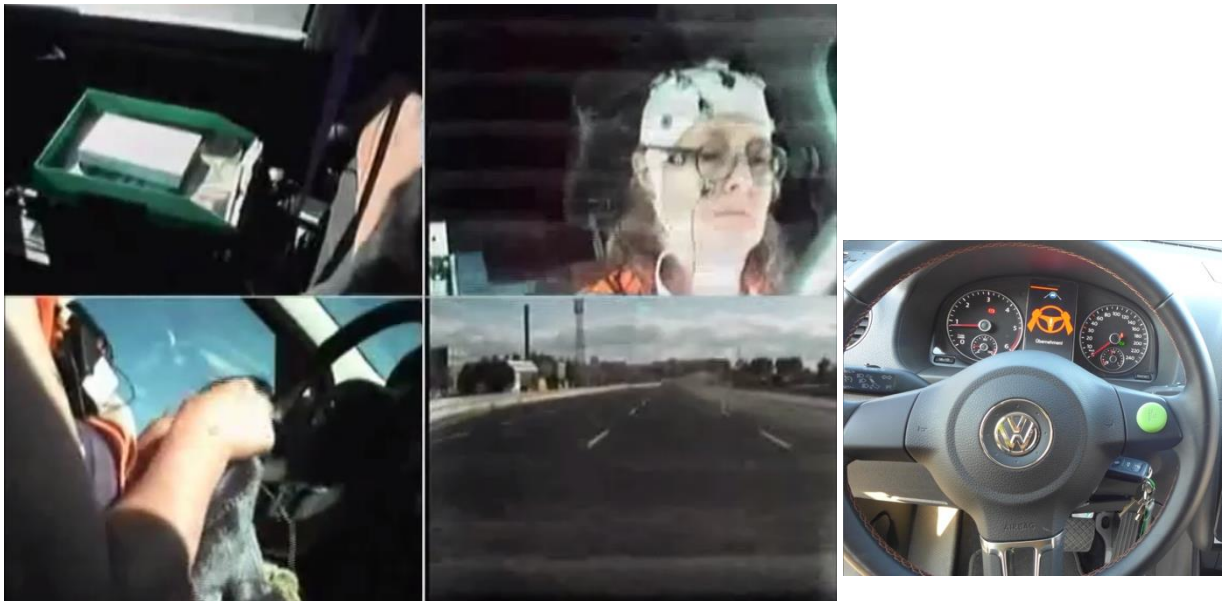


Abbildung 176: Videobilder aus dem WoOz-Versuchsfahrzeug während der automatisierten Fahrt mit Bearbeitung (motivierender) fahrfremder Tätigkeiten (hier: Stricken eines Pullovers) und MMI-Anzeigekonzept für den Automatisierungszustand und der Übernahmeaufforderung der Fahrzeugsteuerung.

#### 3.3.3.6.3.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Juli 2018
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Wizard-of-Oz Fahrzeug (Wizard-Versuchsleiter im hinteren Fahrzeugbereich, mittig, für Proband verdeckt) auf Testgelände
Stichprobengröße:	19 (nach Ausschluss: 14)
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	6w, 8m, MW=41 Jahre (SD=15), im Mittel 24.500 km Fahrleistung im Jahr
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	Ovalbahn, ca. 2,1 km Länge, 3 Fahrstreifen. Fahrt auf mittlerem Fahrstreifen mit ca. 70 km/h, monoton, keine anderen Fahrzeuge vorhanden
Beschreibung Übernahmeszenario:	Gerader Streckenteil: TOR nach ca. 28 min laut Versuchsplan (entweder zuvor 28 min mit Überwachungsnotwendigkeit (Längs- und Querführung) oder mit Bearbeitung fahrfremder Tätigkeiten automatisiert gefahren; randomisiert, Messwiederholungsdesign)
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	gering
Zeitbudget:	20s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Erklärung, dass sowohl HAF gefahren wird als auch permanente Überwachungsphasen im Versuch auftreten werden. Ausführliche Instruktion der Anzeige des Fahrzustands (manuell, Automatisierung verfügbar, Automatisierung aktiv, Übernahmeaufforderung (TOR)). Demonstration des automatisierten Fahrens und Übung von Steuerungsübernahmen vor Beginn der Messdatenaufzeichnung.

Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	2
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	ca. 28 min
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung	Akustisch und visuell, sehr salient
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Tastendruck am Lenkrad (Abbildung 176, rechts: grüner Taster)
Systemverhalten nach TOR:	Weiterfahrt bei konstanter Geschwindigkeit im mittleren Fahrstreifen.

### 3.3.3.6.3.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung:	Auf welche Weise kann einer Ermüdung des Fahrers entgegen gewirkt werden?
Unabhängige Variablen:	Dauer der automatisierten Fahrt, Überwachungsnotwendigkeit / Beschäftigung mit fahrfremden Tätigkeiten, Zeitpunkt der TOR im gesamten Zeitverlauf
Abhängige Variablen:	Objektiv: EEG-Alphaspindeln, Herzrate, Videodaten Subjektiv: Erfahrung mit Fahrerassistenz, Müdigkeitsrating, Motion Sickness, Vertrauen in Automatisierung, Stressrating, Persönlichkeitsmerkmale, Zufriedenheit mit der Automatisierungsgüte, Workload, WoOz-Blindheit, Schlafdauer und Koffeinkonsum vor dem Versuch
Hauptergebnisse:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alle Probanden blind gegenüber WoOz-Methodik</li> <li>- individuelle Unterschiede im Ermüdungsverhalten</li> <li>- Replikation des Ermüdungsanstiegs aus Versuch 1</li> <li>- EEG-Alphaspindeln zeigen im Mittel keinen Ermüdungsanstieg bei Bearbeitung motivierender fahrfremder Tätigkeiten im Vergleich zu einer permanenten Überwachungsnotwendigkeit</li> <li>- Signifikant längere Übernahmezeiten bei TOR nach Bearbeitung fahrfremder Tätigkeiten als nach permanenter Überwachung</li> </ul>
Fazit aus Studie für Fragestellung:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Im Mittel scheinen motivierende Tätigkeiten in der Lage zu sein, Menschen auf einem höheren Aktivierungsniveau zu halten und somit Ermüdung vorzubeugen</li> <li>- Die hier verwendeten motivierenden Tätigkeiten (hier haben Probanden diese in der Hand gehalten und mussten sie beim TOR zur Seite legen) führen zu signifikant längeren Übernahmezeiten, als dies unter permanenter Überwachung der Fahrzeugsteuerung der Fall ist (ohne Hände am Lenkrad)</li> </ul>

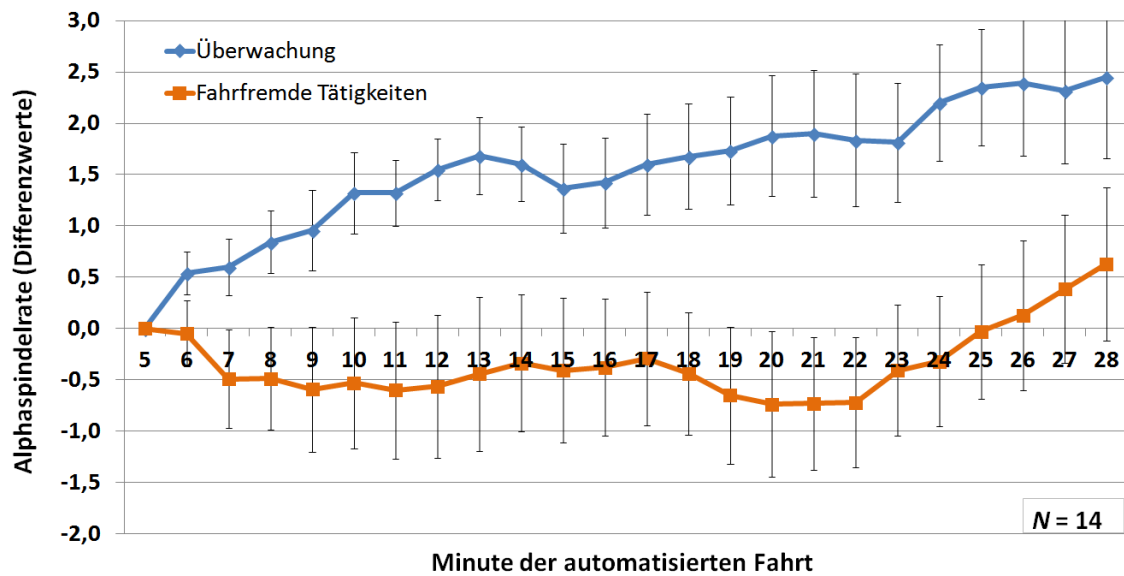


Abbildung 177: Ermüdungsverlauf über die automatisierte Fahrtdauer bei permanenter Überwachungsnotwendigkeit und bei Bearbeitung fahrfremder Tätigkeiten. Eine hohe EEG-Alphaspindele rate geht mit erhöhter Ermüdung einher. Die Fehlerbalken repräsentieren den Standardfehler.

### 3.3.3.6.4 Lehrstuhl für Ergonomie, TUM Versuch 1 – Optimiertes Anzeigekonzept

#### 3.3.3.6.4.1 Fotodokumentation



Abbildung 178: Generisches HMI der Versuche zum Fahrzustand und Anzeige des Head-Up Displays im statischen Fahrsimulators des Lehrstuhls in dem das optimierte Anzeigekonzept dargestellt wurde.



Abbildung 179: HMI Konzept in beiden Situationen.

### 3.3.3.6.4.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	Februar 2018
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände))	Statischer Fahrsimulator
Stichprobengröße:	n = 40
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	- 25 männlich, 15 weiblich - Alter: M = 30,7 Jahre (SD = 13,0 Jahre)
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	6-spurige Autobahnfahrt, mittlere Verkehrsdichte während der automatisierten Fahrt, keine anderen Verkehrsteilnehmer in der Übernahme-situation, 120 km/h
Beschreibung Übernahmeszenario:	Baustelle und engere Autobahnkurve bei Niederschlag
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Beide Situationen geringe Kritikalität, tendenziell höhere Kritikalität in der Baustelle
Zeitbudget:	7s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Umfangreich. System wurde vor Versuch erklärt, Probanden erhielten eine Einführung in den Simulator, die automatisierte Fahrfunktion und eine Übernahme vor Beginn der Versuchsfahrt.
Anzahl der erlebten Übernahmeauforderungen vor Versuchsbeginn:	1
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	ca. 3 Minuten
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung:	Akustisch-visuelle Warnung in der Gruppe mit generischem HMI, optimiertes HMI siehe Fotodokumentation
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Deaktivierung durch Bremsen >10% oder Lenken >2° möglich oder Tastendruck am Lenkrad
Systemverhalten nach TOR:	Schleppmoment, keine weitere Unterstützung durch das System

### 3.3.3.6.4.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wie beeinflusst die Anzeige von zusätzlichen Informationen die objektiven und subjektiven Parameter der Übernahme bei visuell abgewendeten Personen?</li> <li>- Wie beeinflussen unterschiedlich offensichtliche Übernahmeszenarien die objektiven und subjektiven Parameter der Übernahme bei visuell abgewendeten Personen?</li> </ul>
Unabhängige Variablen:	<p>Es handelte sich dabei um ein gemischtes 2x2 Design, mit folgender Aufteilung von unabhängigen und abhängigen Variablen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Unabhängige Variablen (UV): <ul style="list-style-type: none"> <li>• UV 1 (Zwischensubjektfaktor): Gruppe mit HUD, Gruppe ohne HUD</li> <li>• UV 2 (Innersubjektfaktor): Situation Baustelle, Situation Kurven</li> </ul> </li> </ul>
Abhängige Variablen:	<p>Abhängige Variablen (UV):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Objektive Daten (Fahrdynamik, Eyetracking) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschleunigungen, Spurhalte-güte, Trajektorien, Eingriffsart und -zeit, Blickhäufigkeiten auf AOIs</li> </ul> </li> </ul>

- 
- Subjektive Daten (aus Fragebögen)
    - Situationsbewertung, Anzeigenbewertung, Erkennbarkeit des Grundes bzw. Wunsch nach Angabe des Grundes für Übernahmeaufforderung, Bereitschaft zur Durchführung von FFT
- 

Hauptergebnisse:

Bei den Ergebnissen zeigten sich hinsichtlich der Fahrdaten keine signifikanten Unterschiede, sowohl zwischen den Gruppen als auch zwischen den Situationen.

Allerdings zeigte die Auswertung der Eye-Tracking Daten einen signifikanten Unterschied bei den prozentualen Blicken auf die Straße (percentage eyes on road, PEOR). Dabei blickten Probanden mit HUD 10,45% häufiger auf die Straße als Probanden ohne HUD ( $df(1, 31)$ ,  $F=6,881$ ,  $p<0,05$ , partielles  $\eta^2=0,182$ ). In der Baustellensituation ergaben sich außerdem 6,2% mehr Straßenblicke als in der Kurvensituation ( $df(1, 31)$ ,  $F=7,621$ ,  $p<0,05$ , partielles  $\eta^2=0,197$ ).

Bei der Analyse der subjektiven Daten zeigte sich, dass Probanden mit HUD einen signifikanten Sicherheitsgewinn gegenüber Probanden ohne HUD empfanden, bei einer starken Effektstärke (Das Anzeigekonzept erhöht die Verkehrssicherheit. Item aus Arndt, 2011) ( $U=46,5$ ,  $p<0.001$ ,  $r=0.659$ ).

Zudem zeigte sich bei den Items Nützlichkeit ( $df(1, 38)$ ,  $F=13,624$ ,  $p<0,01$ , partielles  $\eta^2=0,264$ .) und Zufriedenstellung ( $df(1, 38)$ ,  $F=11,872$ ,  $p<0,01$ , partielles  $\eta^2=0,238$ .) aus van der Laan et. al., 1997 ein signifikanter Unterschied. Die Gruppe mit HUD bewertete das Anzeigekonzept als nützlicher und zufriedensstellender im Vergleich zur Gruppe ohne HUD.

---

Fazit aus Studie für Fragestellung:

Damit lassen sich folgende Schlussfolgerung ziehen:

- Zusätzliche Informationen zu Übernahmeaufforderungen sind obligatorisch, wenn HAF von künftigen Nutzern langfristig akzeptiert werden soll.
- Das HUD eignet sich gut zur Darstellung von Informationen bei zeitdringlichen Übernahmeaufforderungen, weil der Blick nicht von der Straße abgewendet werden muss. → Zutraglich für die Verkehrssicherheit
- Bei der HMI Gestaltung ist es wichtig, psychologische Bedürfnisse zu adressieren.  
Konkret: Bedürfnis nach Sicherheit → wird erlangt durch Erklärbarkeit der Situation

Die Ergebnisse des Versuchs zeigen, dass ein generisches HMI nicht ausreichend ist, um Übernahmen auch für die Nutzer ansprechend zu gestalten. Obwohl hinsichtlich der objektiven Übernahmeleistung keine Unterschiede auftreten, zeigt der Versuch, dass ein Nutzerzentriertes Vorgehen bei der Gestaltung von Übernahmeaufforderung und unterstützendem HMI unerlässlich für die Akzeptanz und damit dem Erfolg der Automation an sich ist.

---

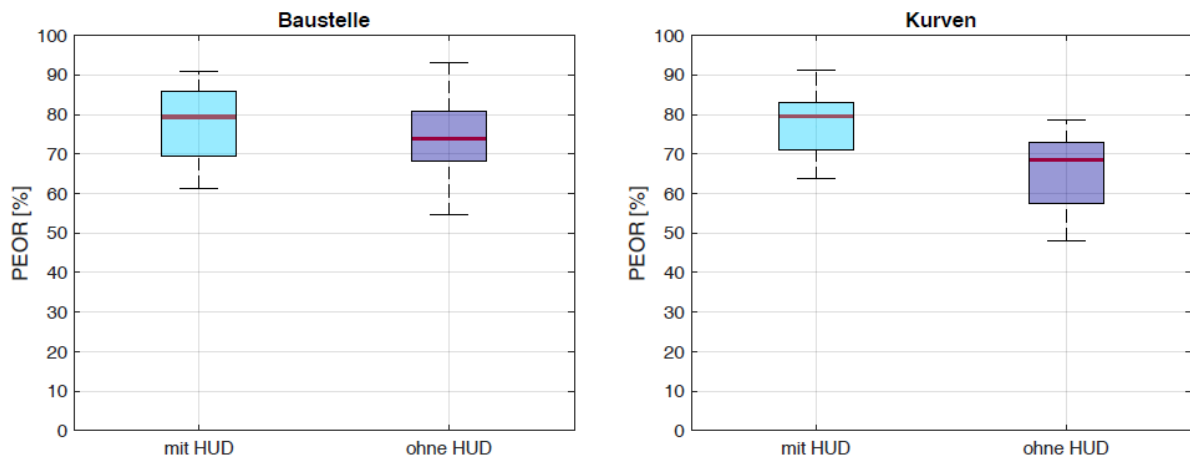


Abbildung 180: PEOR zwischen den Gruppen und den Situationen.

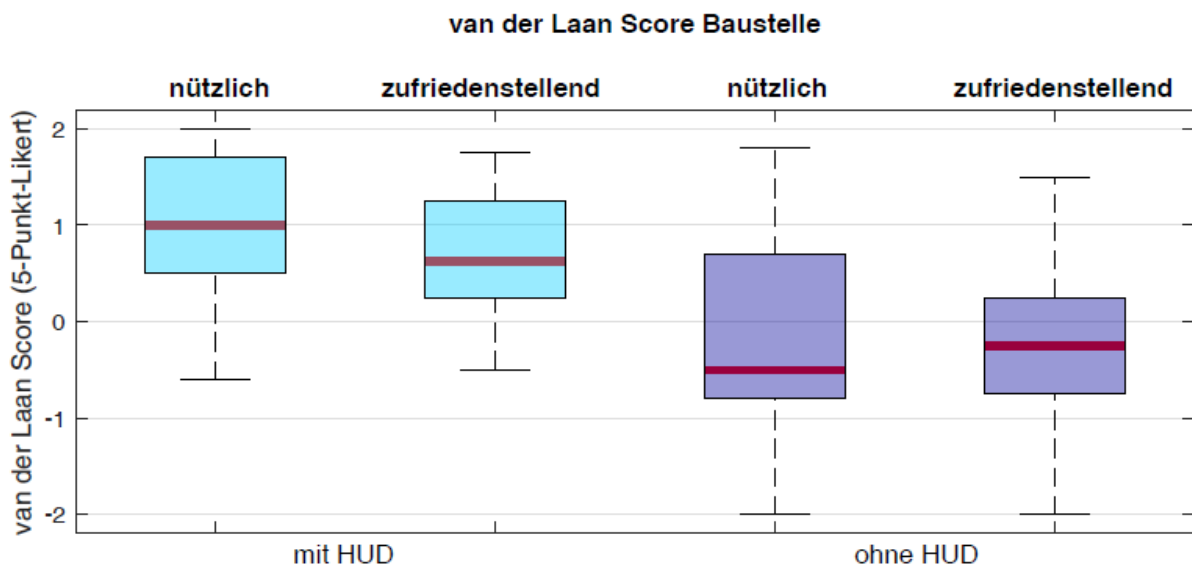


Abbildung 181: Bewertung von Nützlichkeit und Zufriedenstellung.

### 3.3.3.6.5 IZVW, Universität Würzburg Versuch 1 – Anpassung der Dringlichkeit von Übernahmeaufforderungen an den Fahrerzustand

#### 3.3.3.6.5.1 Fotodokumentation



Abbildung 182: Links: Tetris® spielen auf dem Tablet. Mitte: Die Box zum Verstaen des Tablets (in Bedingungen mit hohem Unterbrechungsaufwand). Rechts: Visuelle Komponente des Take-Over-Requests.



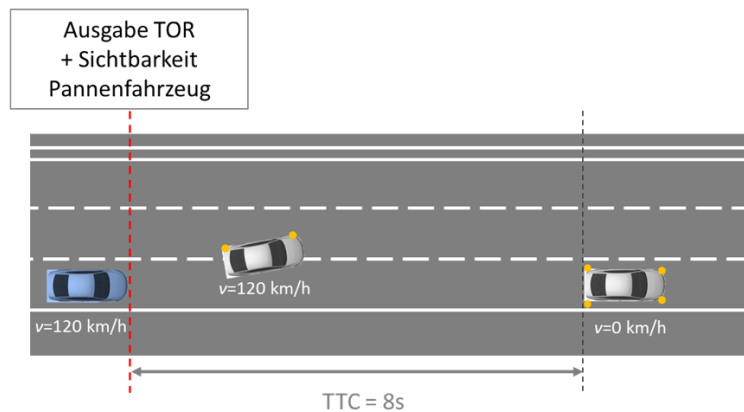


Abbildung 183: Schematische Darstellung der Übernamesituation.

### 3.3.3.6.5.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	10/2017
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)).	Statischer Fahrsimulator
Stichprobengröße:	N=58
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 30 männlich, 28 weiblich</li> <li>- Alter: M=32;3 Jahre (sd= 9;7)</li> </ul>
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.).	6-spurige Autobahnfahrt, mittlere Verkehrsdichte, 130 km/h
Beschreibung Übernahmeszenario:	Pannenfahrzeug auf eigener Fahrspur (Abbildung 183)
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Mittel kritisch, da kein Umgebungsverkehr in der Übernahmesituation
Zeitbudget:	8s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Level 3 – Fahrer muss nicht überwachen, jedoch kann es Situationen geben, in denen das Fahrzeug innerhalb eines angemessenen Zeitraums zur Übernahme auffordert
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	2
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	Ca. 3 Minuten
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung:	Akustisch-visuelle Warnung (Abbildung 182, rechts)
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Beidseitiger Tastendruck am Lenkrad war instruiert, allerdings war Deaktivierung auch durch Bremsen oder Lenken >2° möglich.
Systemverhalten nach TOR:	Schleppmoment

### 3.3.3.6.5.3 Fragestellungen und Ergebnisse

---

Fragestellung 1:	Wie wirken sich Unterbrechungsaufwand von fahrfremden Tätigkeiten sowie die Motivation des Fahrers zur Aufgabenbearbeitung auf die Dauer und Qualität von Übernahmen aus?
Fragestellung 2:	Welche Vorteile bringen Warnkonzepte, die adaptiv sind in Bezug auf Motivation und Unterbrechungsaufwand?
Unabhängige Variablen:	Teil 1: Motivation zur Aufgabenbearbeitung (Tetris® spielen für Punkte und Geld vs. Tetris® spielen als reiner Zeitvertreib ohne externe Anreize, Abbildung 182). Unterbrechungsaufwand bei Übernahmeaufforderungen (Weglegen vs. aufwendiges Verstauen in einer Box, Abbildung 182). Teil 2: Art des Warnkonzepts (Immer hoch dringliche Warnung vs. immer wenig dringliche Warnung vs. variable Warnung, auf Motivation und Unterbrechungsaufwand abgestimmt).
Abhängige Variablen:	Subjektiv u.a.: Skala zur Bewertung der Kritikalität von Fahr- und Verkehrssituationen, Rechtzeitigkeit TOR, Übernahmebereitschaft Objektiv u.a.: Dauer bis Hands-On, Dauer bis Tastendruck, SDLP, max. Querversatz, max. Quer- / Längsbeschleunigung
Hauptergebnisse:	Teil 1: Deutliche Effekte zwischen den beiden Unterbrechungsbedingungen: Das Verstauen des Tablets in der Box verzögert die Fahrerreaktionen deutlich gegenüber dem Weglegen (Abbildung 184, links). Fahrer pausieren die Aufgabe „reflexartig“ ca. 1.6s nach TOR-Ausgabe, unabhängig von Motivations- und Unterbrechungsbedingung (Abbildung 184, rechts). Motivations-Variation schlug sich nicht in Reaktionszeitunterschieden nieder. Teil 2: Adaptives Warnkonzept besitzt Potenzial im Hinblick auf Übernahmezeiten und Akzeptanz
Fazit aus Studie für Fragestellung:	Motivationspotenzial und Aufwand zur Unterbrechung sind wichtige Merkmale fahrfremder Tätigkeit mit Einfluss auf die Dauer und Qualität von Übernahmen der Fahrzeugkontrolle. Ihre Berücksichtigung in adaptiven Warnkonzepten sollte in Betracht gezogen werden.

---

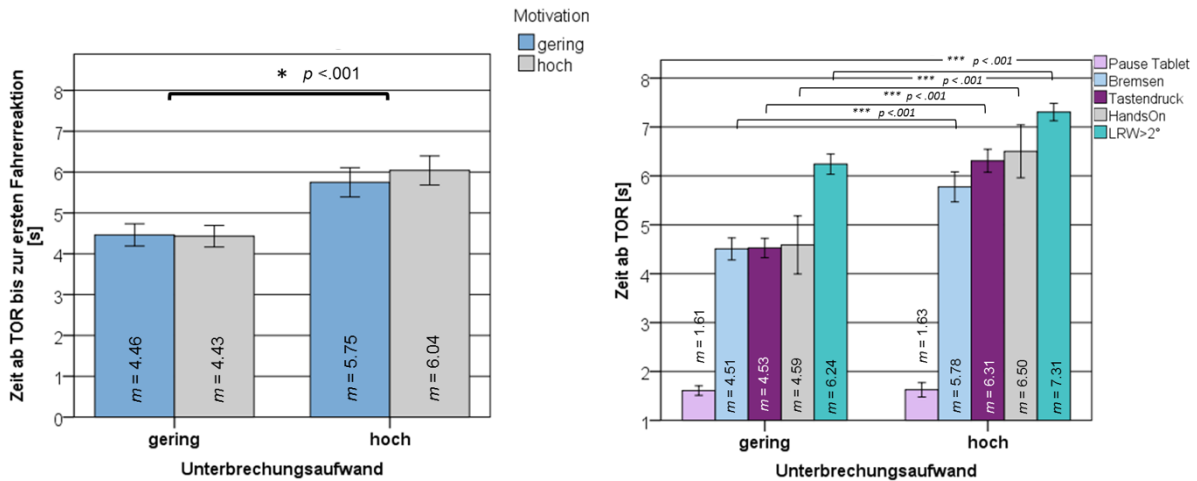


Abbildung 184: Links: Zeit ab Ausgabe des Take-Over-Requests bis zur ersten Fahrerreaktion (Bremsen, Tastendruck oder Lenkradwinkel > 2°) in Abhängigkeit von Unterbrechungsaufwand und Fahrer motivation. Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle. Rechts: Zeit ab Ausgabe des Take-Over-Requests bis zur Fahrerreaktion in Abhängigkeit des Unterbrechungsaufwands. Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle.

### 3.3.3.6.6 IZVW, Universität Würzburg Versuch 2 – Anpassung des Zeitpunkts der Übernahmeaufforderung an den Fahrerzustand

#### 3.3.3.6.6.1 Fotodokumentation



Abbildung 185: Links: Tetris® spielen auf dem Tablet. Mitte: Die Box zum Verstauen des Tablets (in Bedingungen mit hohem Unterbrechungsaufwand). Rechts: Visuelle Komponente des Take-Over-Requests.

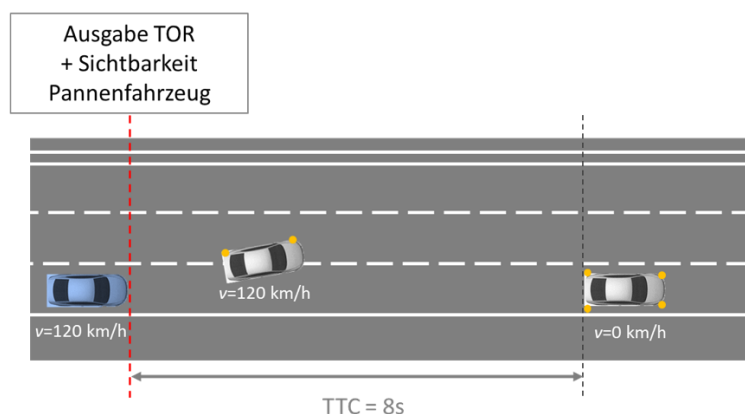


Abbildung 186: Schematische Darstellung der Übernamesituation.

### 3.3.3.6.6.2 Studien-/Systemdesign

Zeitraum der Studiendurchführung:	06-07/2018
Methode (Fahrsim. vs. Realfahrzeug (Testgelände /öffentl. Gelände)):	Statischer Fahrsimulator
Stichprobengröße:	N=49
Charakterisierung Versuchsteilnehmer:	- 27 männlich, 22 weiblich - Alter: M=36,0 Jahre (sd= 11,0)
Beschreibung der Versuchsstrecke (Anzahl der Spuren, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte etc.):	6-spurige Autobahnfahrt, mittlere Verkehrsdichte, 130 km/h
Beschreibung Übernahmeszenario:	Pannenfahrzeug auf eigener Fahrspur
Einstufung Übernahmeszenario (gering/mittel/hoch):	Mittel kritisch, da kein Umgebungsverkehr in der Übernahme-situation
Zeitbudget:	8s
Art/Umfang der HAF-Instruktion:	Level 3 – Fahrer muss nicht überwachen, jedoch kann es Situationen geben, in denen das Fahrzeug innerhalb eines angemessenen Zeitraums zur Übernahme auffordert
Anzahl der erlebten Übernahmeaufforderungen vor Versuchsbeginn:	2
Dauer der automatisierten Fahrt vor TOR:	Ca. 3 Minuten
TOR Design (akustisch, visuell) und Charakterisierung:	Akustisch-visuelle Warnung
Methode zur HAF-Deaktivierung:	Beidseitiger Tastendruck am Lenkrad war instruiert, allerdings war Deaktivierung auch durch Bremsen oder Lenken >2° möglich.
Systemverhalten nach TOR:	Schleppmoment

### 3.3.3.6.6.3 Fragestellungen und Ergebnisse

Fragestellung:	Wie wirken sich unterschiedliche zur Verfügung stehende Zeitbudgets auf die benötigte Übernahmezeit des Fahrers aus? Welche Vorteile bringen Warnzeitpunkte, die adaptiv sind in Bezug auf den Unterbrechungsaufwand einer fahrfremden Tätigkeit?
Unabhängige Variablen:	Unterbrechungsaufwand bei Übernahmeaufforderungen (Weglegen vs. aufwendiges Verstauen in einer Box). Warnzeitpunkt (7 s vs. 10 s). Vergleich von kompatiblen und inkompatiblen Paarungen aus Warnzeitpunkt und Unterbrechungsaufwand.
Abhängige Variablen:	Subjektiv u.a.: Skala zur Bewertung der Kritikalität von Fahr- und Verkehrssituationen, Rechtzeitigkeit TOR, Übernahmebereitschaft, Akzeptanz (Van der Laan Skala) Objektiv u.a.: Dauer bis Hands-On, Dauer bis Tastendruck, SDLP, max. Querversatz, max. Quer- / Längsbeschleunigung
Hauptergebnisse:	Beide Manipulationen zeigen einen deutlichen Einfluss auf objektive Fahrdaten und subjektive Urteile.

Fahrer adaptieren bei hohem Unterbrechungsaufwand an das Zeitbudget: Sie übernehmen bei kurzer Restzeit schneller als bei längerer Restzeit, vor allem bei hohem Unterbrechungsaufwand (0,8s Differenz, Abbildung 187).

Durchgänge mit kompatibler Paarung aus Warnzeitpunkt und Unterbrechungsaufwand erzielen höhere Akzeptanz als inkompatible Paarungen.

Fazit aus Studie für Fragestellung: Fahrer neigen dazu, vorhandene zeitliche Spielräume bei der Übernahme flexibel auszunutzen. Adaptive Warnzeitpunkte, welche den Unterbrechungsaufwand fahrfremder Tätigkeiten berücksichtigen, können den Fahrer bei der Übernahme unterstützen.

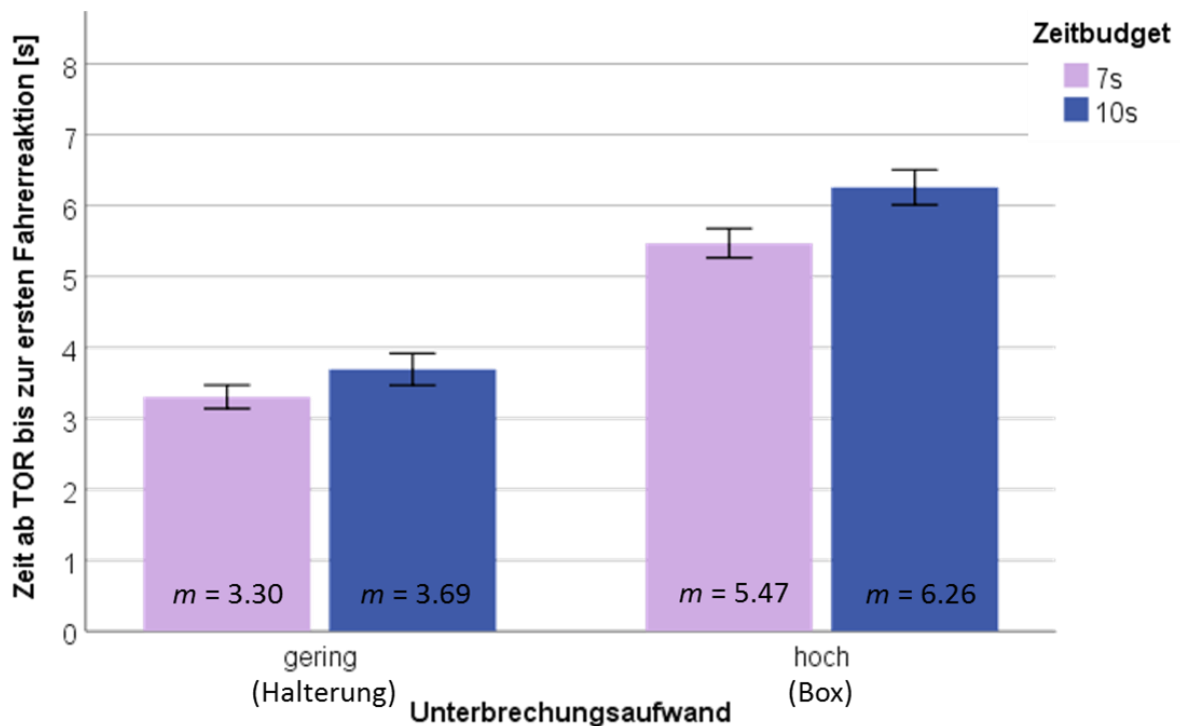


Abbildung 187: Zeit ab Ausgabe des Take-Over-Requests bis zur ersten Fahrerreaktion (Bremsen, Tastendruck oder Lenkradwinkel > 2°) in Abhängigkeit von Unterbrechungsaufwand und Zeitbudget. Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle.

### 3.3.4 UAP 3.4 Empfehlungen zu Methoden und Interaktionskonzepten

Im UAP 3.4 wurden die Aktivitäten und Erkenntnisse des AP3 im Projekt Ko-HAF konsolidiert. Neben einer Zusammenstellung der Ergebnisse der im Rahmen von Ko-HAF im AP3 durchgeführten Studien, wurden Analogien und Unterschiede identifiziert und diskutiert. Diese partnerübergreifende Auseinandersetzung mit den Ergebnissen des Förderprojekts stellte die Basis für die spätere Ableitung von Kernaussagen des AP3 und die Ableitung von Empfehlungen als kondensierte Form der Ergebnisverwertung dar.

Hierbei wurden neben den in der Vorhabenbeschreibung fokussierten Feldern der Methodik und der Interaktionskonzepte, auch die Bereiche der fahrfremden Tätigkeiten (Non-Driving Related Tasks; NDRT) und Müdigkeit (Drowsiness and Fatigue) betrachtet.

#### 3.3.4.1 Methodik

In Bezug auf die Methodenentwicklung für die Beleuchtung der Rolle des Fahrers im hochautomatisierten Fahrzeug wurden Kernergebnisse der UAP3.1-3.4 wieder aufgegriffen und neu

aufbereitet. Insbesondere die partnerübergreifenden Veröffentlichungen zu Testszenarien<sup>29</sup> sowie zum Konzept „Fahrerverfügbarkeit“<sup>30</sup> stellen wichtige Bausteine zur Weiterentwicklung der Methodik im Bereich der Untersuchung der Mensch-Maschine-Interaktion beim hochautomatisierten Fahren dar. Die Inhalte beider Veröffentlichungen flossen zudem in das ISO-Projekt TR21959 „Human State and Performance in the Context of Automated Driving“<sup>31</sup>, ein.

Die im Projekt Ko-HAF weiterentwickelte Wizard-of-Oz Methodik (Automation wird durch einen menschlichen Fahrer simuliert) wurde in verschiedenen Ausprägungen von mehreren Projektpartnern im Rahmen von Pilotversuchen erfolgreich eingesetzt. Die Erfahrungen zu den Varianten „Rechtslenker mit nicht-funktionalen Bedienelementen auf Fahrerseite“, „Linkslenker mit verdeckt agierendem Fahrer im abgeschirmten Font“ sowie „Linkslenker mit verdeckt agierendem Fahrer auf Beifahrerplatz“ konnten in einem spezifischen Wizard-of-Oz Workshop am 24. Oktober 2017 an der TU München ausgetauscht und diskutiert werden. Die Wizard-of-Oz Methodik wurde im Rahmen des UAP3.4 hinsichtlich der Ergebniskonformität mit der etablierten Methodik der Fahrsimulation verglichen. Für dringliche Übernahme-situationen zeigten sich bzgl. der Übernahmezeit nur geringfügige Unterschiede. Die Qualität der Fahrzeugstabilisierungsphase lässt sich im Realfahrzeug im Vergleich zu vielen statischen und dynamischen Fahrsimulatoren deutlich valider bewerten.

#### 3.3.4.2 Interaktionskonzepte

Für das Projekt Ko-HAF wurden generische Interaktionskonzepte (MMI) vereinbart, welche eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse bei gleichzeitiger Wahrung der Interessen hinsichtlich einer Wettbewerbsdifferenzierung der Partner zulassen. Im UAP3.4 wurden hieraus die Empfehlungen zu mehrstufigen MMI-Konzepten formuliert, welche eine multimodale Übernahmeaufforderung vorsehen. Insbesondere das Abschalten des NDRT durch das Fahrzeug im Moment der Übernahmeaufforderung („NDRT lock-out“) verkürzte tendenziell die Übernahmezeit des Fahrers. Außerdem wurde eine Routenvorausschau als für den Fahrer zur Selbstregulierung des Verhaltens hilfreich identifiziert.

#### 3.3.4.3 Fahrfremde Tätigkeiten

Bei der Untersuchung des Menschen im Kontext der Interaktion mit hochautomatisierten Fahrzeugen wurden unterschiedliche NDRTs eingesetzt. Das UAP3.4 hat die Erkenntnisse hinsichtlich der Einflüsse der untersuchten Modalitäten der Aufgaben konsolidiert und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet. Die Ergebnisse der Experimente der Partner waren nicht immer konsistent, z.B. hinsichtlich des Einflusses von visuellen, visuell-motorischen oder rein kognitiven Aufgaben. Dennoch konnte vor allem der Handbelegung durch einen NDRT sowie einer starken physischen Abwendung eine Übernahmezeit-verlängernde Wirkung nachgewiesen werden. Eine Übersicht über die Erkenntnisse zu den Effekten von NDRTs wurde in einer partnerübergreifenden Veröffentlichung<sup>32</sup> publiziert.

#### 3.3.4.4 Müdigkeit

Die Arbeiten unterschiedlicher Partner befassten sich mit der Untersuchung der Auswirkung von Müdigkeit / Ermüdung auf den Fahrer im hochautomatisierten Fahrzeug. Bei dem Abgleich der Ergebnisse im Rahmen des UAP3.4 konnten partnerübergreifend starke inter- und intraindividuelle Unterschiede festgestellt werden. Außerdem zeigte sich ein deutlicher Anstieg der Fahrermüdigkeit nach bereits 20-30 Minuten hochautomatisierter Fahrt, welcher allerdings in diesen Szenarien keinen signifikanten Einfluss auf die Übernahme hatte. Auch bei längeren automatisierten Fahrten (bis 90min) zeigten sich keine eindeutigen Ergebnisse hinsichtlich des Übernahmeverhaltens. Die gesammelten Ergebnisse und eine Zusammenschau der Studien

---

<sup>29</sup> Gold et al. (2017) Testing-Scenarios for Human Factors Research in Highly Automated Vehicles.

<sup>30</sup> Marberger et al. (2017). Understanding and applying the concept of „driver availability“ in automated driving.

<sup>31</sup> <https://www.iso.org/standard/73927.html>.

<sup>32</sup> Jarosch et al. (in Review). The Impact of Non-Driving Related Tasks on Take-over Performance in Conditionally Automated Driving – A Review of the Empirical Evidence.



im AP3 zum Thema Müdigkeit wurden ebenfalls in einer partnerübergreifenden Veröffentlichung<sup>33</sup> publiziert.

#### 3.3.4.5 Abschlusspräsentation

Im UAP3.4 liefen darüber hinaus die Vorbereitungen zur Abschlusspräsentation. Neben Aufwänden organisatorischer Art wurde unterschiedliches Präsentationsmaterial erstellt, darunter 24 Poster, mehrere Vorträge und Videos. Weiterhin wurden Demonstratoren (Wizard-of-Oz-Fahrzeuge, Simulatoren und andere) vorbereitet und ausgestellt. Die Reaktionen des Fachpublikums waren durchweg sehr positiv aufgrund der umfangreichen empirischen Arbeit im Arbeitspaket 3 und der differenzierten Aufbereitung der Ergebnisse. Die Vielzahl an individuellen Postern und gemeinsamen Vorträgen, die abstimmungsgemäß auf Englisch verfasst waren, fanden zudem sehr guten Anklang bei internationalen Besuchern, bspw. aus Japan. Eine Ergebnisverbreitung über den deutschen Raum hinaus garantiert eine höhere Sichtbarkeit im internationalen Standardisierungsprozess und fördert außerordentlich die Wahrnehmung der Empfehlungen, die in Ko-HAF zum automatisierten Fahren erarbeitet wurden.

Zudem wurden die zentralen Ergebnisse und Aussagen des AP3 in Form von „Key Messages“ ausgestellt, um eine von allen Partnern getragene zentrale Lösungssammlung des AP3 bereitzustellen. Die „Key Messages“ sind zu Beginn des Abschnitts 3.3 dargestellt und repräsentieren die zentrale Zusammenfassung der AP3-Ergebnisse.

Neben den Empfehlungen zu Interaktionskonzepten und Methoden enthält die Ergebnisschau des AP3 damit auch zentrale Ergebnisse aus den empirischen Studien im Arbeitspaket. In Kombination mit den detaillierten Studiensteckbriefen der UAP 3.2 und 3.3 bieten die Ergebnisse des AP3 aus Ko-HAF also eine sehr breite, sehr gut dokumentierte und sehr wertvolle Datenbasis für weitere Rückschlüsse.

### 3.4 AP4 Funktionsentwicklung für Normal- und Notbetrieb

Die Leitung von Arbeitspaket 4 lag bei der Opel Automobile GmbH. Das Arbeitspaket war in vier Unterarbeitspakete unterteilt:

- UAP4.1 Kooperative Umfeldmodellierung im Fahrzeug, Situationsanalyse und -bewertung unter der Leitung von Bosch.
- UAP4.2 Normalfunktionen unter der Leitung von Continental Teves
- UAP4.3 Gefahrstellen unter der Leitung von BMW
- UAP4.4 Fahrzeug und sicherer Betrieb unter der Leitung von Audi

Eine gute Umfelderkennung und -modellierung bildet die Grundlage des automatisierten Fahrens. Dazu gehört auch die Fusion der Daten aus der Onboard-Sensorik mit der hochpräzisen digitalen Karte, die durch das Backend geliefert wird. Aber erst durch die Übermittlung von Informationen aus anderen Fahrzeugen über den Safety Server wird eine virtuelle Sensorreichweite erreicht, die in vielen Fällen den sicheren und zuverlässigen Betrieb des hochautomatisierten Fahrzeugs ermöglicht. Hierdurch können Gefahrenstellen so frühzeitig in die Fahrstrategie einbezogen werden, dass sie ggf. automatisiert umfahren werden können und keine Fahrerübernahme notwendig wird. In UAP4.1 wurden die Anforderungen an die Umfelderkennung zusammengetragen und Konzepte für die Umfeldmodellierung aufgestellt. Die Umsetzung erfolgte dann jeweils partnerspezifisch in den einzelnen Versuchsträgern.

In UAP4.2 wurden die sogenannten Normalfunktionen für die automatisierte Fahrt auf der Autobahn entwickelt. Dazu gehören das automatisierte Auffahren und Einfädeln, Frei- und Folgefahrt auf der Autobahn sowie das Überholen von langsameren Fahrzeugen und schließlich die automatisierte Abfahrt von der Autobahn mit der anschließenden Übergabe der Fahraufgabe an den Fahrer. Im Rahmen des Vorhabens wurden die einzelnen Szenarien definiert sowie Konzepte für die Realisierung der verschiedenen Fahrfunktionen erarbeitet.

<sup>33</sup> Radlmayr et al. (2018). Drowsiness and fatigue in conditionally automated driving – Towards an integrative framework.

Der Umgang mit Gefahrenstellen lässt sich in zwei Kategorien unterteilen – in den taktischen und den strategischen Umgang. Gefahrenstellen, die erstmalig durch die Onboard-Sensorik erkannt wurden, erfordern in der Regel eine schnelle, taktische Reaktion. Ist die Gefahrenstelle hingegen frühzeitig bekannt, weil sie dem Safety Server von anderer Stelle bereits gemeldet und von ihm in die digitale Karte implementiert wurde, so ist eine strategische Reaktion möglich, wie beispielsweise ein Spurwechsel oder eine Geschwindigkeitsreduktion. Hierfür wurden in UAP4.3 Konzepte entwickelt und zum Teil auch umgesetzt.

UAP4.4 schließlich beschäftigte sich mit dem Aufbau der Versuchsträger, der Umsetzung der automatisierten Fahrfunktionen im Fahrzeug und insbesondere mit dem Übergang in einen sicheren Zustand, falls beispielsweise ein Systemausfall auftritt oder der Fahrer nicht rechtzeitig die Fahraufgabe übernimmt. Weiterhin wurde ein Sicherheitskonzept für den Betrieb der Versuchsträger gemeinsam entwickelt.

In den folgenden Abschnitten werden die Projektergebnisse aus den einzelnen Unterarbeitspaketen detailliert dargestellt.

### 3.4.1 UAP4.1 Kooperative Umfeldmodellierung im Fahrzeug, Situationsanalyse und -bewertung

In Unterarbeitspaket 4.1 soll auf Grundlage der statischen Umfelddaten und der fahrzeuglokalen Sensorik eine geeignete Repräsentation des Umfeldes erzeugt werden, um nachgelagerte Funktionen für den Normal- und Notbetrieb zu ermöglichen.

Eine Herausforderung für die Umfeldmodellierung bei hochautomatisierten Fahrzeugen im realen Straßenverkehr ist das enge Zusammenspiel der in Ko-HAF entwickelten Einzelmodule. Deshalb war es ein wichtiges Ziel, aufbauend auf der Kommunikation mit dem Safety Server aus AP1 und der präzisen Eigenlokalisierung und der statischen Umfeldbeschreibung aus AP2, die Umfeldmodellierung und das Situationsverstehen für die in UAP4.2 und 4.3 geplanten Fahrfunktionen zu erarbeiten. Die Fusion ergänzt dazu die in AP2 erarbeitete Umfeldbeschreibung um die bewegten Objekte der fahrzeuglokalen Umfeldwahrnehmung. UAP4.1 schafft damit ein konsistentes Umfeld mit den für hochautomatisiertes Fahren benötigten Eigenschaften, z.B. den Abständen der Objekte zum Fahrzeug oder ihren Geschwindigkeiten.

Diese Umfeldbeschreibung bildet den Eingang für die Situationsanalyse, die die Interpretation der vorherrschenden Szene übernimmt und der Handlungsplanung zur Verfügung stellt. Eine Bewertung unterschiedlicher Handlungsoptionen ermöglicht der Trajektorienplanung die Erzeugung kollisionsfreier Solltrajektorien, die ihrerseits über die Fahrzeugregelung als Stellgrößen an die Aktorik übergeben werden. Somit adressiert UAP4.1 die Integration einzelner, aufeinander aufbauender Basisfunktionalitäten, auf denen die weitere Entwicklung der Fahrfunktionen aufsetzt.

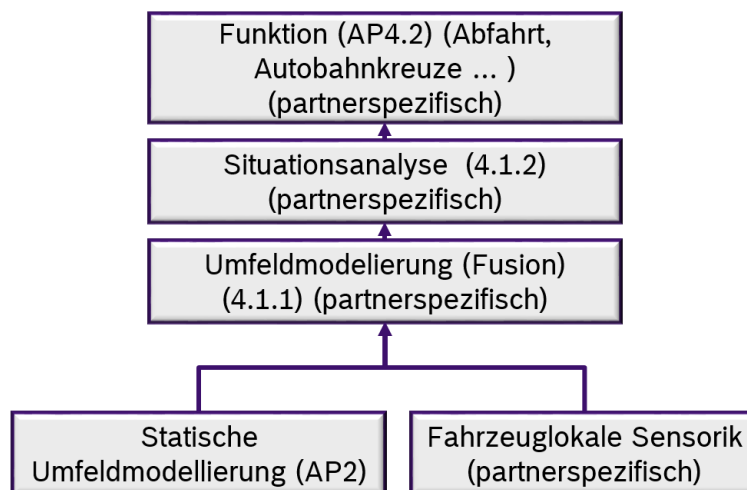


Abbildung 188: Datenfluss Umfeldmodell und Situationsanalyse.

Abbildung 188 zeigt den Datenfluss vom statischen Umfeldmodell und der fahrzeuglokalen Sensorik in die Fusion zu einem konsistenten Umfeldmodell. Zusätzlich findet eine Situationsanalyse und -bewertung statt. Um die Vorausschauweite zu erhöhen, werden die statischen Umfelddaten später über das Frontend aus dem Safety Server bezogen. Damit ist das Fahrzeug in der Lage, frühzeitig reagieren zu können. Das Ergebnis daraus kann verwendet werden, um verschiedene Funktionen, wie z.B. Abfahren von der Autobahn, Durchfahren von Autobahnkreuzen usw., zu ermöglichen. Ebenso kann dies gegebenenfalls zur strategischen Umplanung innerhalb der hochautomatisierten Funktion oder zu einer rechtzeitigen Übergabe an den Fahrer durch das System führen.

Vor allem die beiden in Abbildung 189 dargestellten Szenarien – das automatisierte Auffahren und das automatisierte Abfahren – stellen an die Umfeldmodellierung zusätzliche Anforderungen. Die zusätzliche Spur ist nicht immer eindeutig einsehbar und erfordert geeignete Sensorik, um z.B. auch den Kurvenradius einer Ausfahrt abdecken zu können. Zusätzlich muss die Umfeldmodellierung und Situationsanalyse alle notwendigen Informationen liefern, damit die Bewegung der anderen Verkehrsteilnehmer richtig präzisiert und in die Handlungsplanung aufgenommen werden kann.

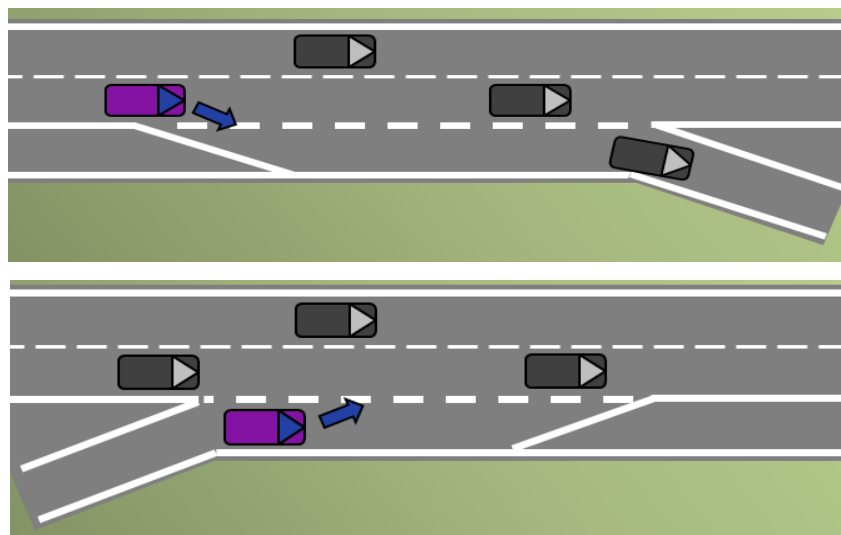


Abbildung 189: Automatisiertes Abfahren (oben) und automatisiertes Einfädeln (unten).

### 3.4.1.1 Fusion

Neben der Lokalisierung ist die robuste und kooperative Umfeldmodellierung eine Grundvoraussetzung für verkehrssicheres hochautomatisiertes Fahren. Das Fahrzeug muss in der Lage sein, sowohl die Infrastruktur der Strecke als auch den umliegenden Verkehr zu erkennen, um adäquat reagieren zu können. Hierzu ist eine leistungsfähige Umgebungserfassung notwendig, die neben einem Abdeckungswinkel von 360° auch durch eine vergrößerte Reichweite den Anforderungen auf der Autobahn gerecht wird. Die Fusion mehrerer, teils redundanter Sensordaten, erhöht die Zuverlässigkeit und Präzision erkannter Objekte und führt zu einer über den Stand der Technik hinausgehenden Robustheit und Zuverlässigkeit der Objektverfolgung (Tracking).

Während in AP2 ein statisches Umfeldmodell aus verschiedenen Datenquellen, wie Karte, Safety Server, Landmarkenfusion, Freiflächen und Verkehrszeichen erstellt wird, fusioniert AP4 zusätzlich die kollisionsrelevanten und dynamischen Objekte aus der fahrzeugeigenen Sensorik. Wichtig ist es hierbei, ein konsistentes Umfeld zu schaffen, das alle fahrzeuglokal wahrgenommenen dynamischen Objekte berücksichtigt. Dazu zählt neben Größe und Position von Objekten z.B. auch deren Abstand. Neben zusätzlicher Redundanz von Sensoren und Sensortechnologien, die eine hohe Zuverlässigkeit und Präzision der erkannten Objekte ermöglicht, ist deshalb auch eine 360°-Umsicht notwendig. Alle Objekte rund um das Fahrzeug müssen zuverlässig erkannt werden, um entsprechend getrackt und im späteren Verlauf berücksichtigt zu werden. Eine besondere Anforderung kommt vor allem auf deutschen

Autobahnen durch die hohen Relativgeschwindigkeiten hinzu. Von hinten schnell herannahende Fahrzeuge müssen frühzeitig erkannt und in der Fusion berücksichtigt werden, um eine adäquate Reaktion der Funktion zu ermöglichen.

Sämtliche erkannte Objekte werden danach in Beziehung zur Infrastruktur und zu anderen statischen Gegebenheiten gesetzt. Die Zuordnung von anderen Verkehrsteilnehmern zu Spuren und Fahrbahnen ist essenziell für eine zuverlässige Situationsanalyse.

#### 3.4.1.2 Situationen erkennen und verstehen durch kognitive Ansätze

In diesem Task wird das eingehende Umfeldmodell aus der Fusion interpretiert und weiterverarbeitet. Situationen müssen erkannt und Szenen verstanden werden, um für die tatsächlichen Fahrfunktionen die Grundlage für die richtigen Handlungsprimitiven zu bilden. Nur so kann die Trajektorienplanung letztendlich eine kollisionsfreie und an die Situation angepasste Solltrajektorie liefern.

Das Umfeldmodell wird hinsichtlich der Bedeutung einer Situation analysiert, um diverse Situationsaspekte in verschiedenen Fahraufgaben (Einfädeln, Abfahren) richtig bewerten zu können. Angepasst auf das jeweilig ausgeführte oder auszuführende Manöver findet hierbei während der Fahrt eine stetige Neubewertung der aktuellen Situation statt. Auf Basis dieser Bewertung werden geeignete Handlungsstrategien abgeleitet. Die Handlungsstrategie entscheidet, wie sich das Fahrzeug im automatisierten Modus bewegen soll und hat damit direkten Einfluss auf die Planung der Fahrzeugtrajektorie. Die kognitive Prädiktion des Fahrverhaltens beteiligter Verkehrsteilnehmer erlaubt eine vorausschauende und dadurch komfortable Fahrweise des Ko-HAF-Fahrzeugs im gemischten Verkehr. Dies fördert nachhaltig die Akzeptanz hochautomatisierter Fahrzeuge.

#### 3.4.1.3 Anforderungen an das statische Umfeldmodell und die Eigenlokalisierung

Für die zuverlässige Fusion und Situationsanalyse im Fahrzeug müssen die Eingangsdaten aus dem Safety Server und die Qualität der Lokalisierung gewisse Merkmale aufweisen. Diese wurden in Zusammenarbeit mit den entsprechenden APs zusammengetragen.

Eine der grundlegenden Fragen ist dabei, welche Informationen im statischen Umfeld und beim Austausch mit dem Safety Server vorhanden sein müssen. Diese Frage wurde mit AP1 gemeinsam geklärt und in eine gemeinsame Anforderungsliste überführt. Abbildung 190 zeigt einen Auszug aus den gesammelten Kartenattributen. Jede gelbe Doppelspalte steht dabei für den Beitrag eines Projektpartners. Dabei wird unterschieden in die vom Fahrzeug benötigten und die von ihm gelieferten Daten. Die benötigten Daten muss der Safety Server zur Verfügung stellen. Die jeweilige Priorität wird mit A, B und C gekennzeichnet (A = muss unbedingt geliefert werden, B = mittlere und C = niedrige Priorität).

Das abgebildete Beispiel zeigt exemplarisch die Anforderungen an die Fahrspur. Deren Begrenzung ist für alle Partner von Bedeutung, während andere Aspekte eher eine untergeordnete Rolle spielen. Im Gegenzug sind einige Partner in der Lage, erkannte Spuren zurückzumelden und somit zu einem aggregierten Umfeld beizutragen.

Spezifikation benötigter Attribute für Referenzkarte "Testfeld Ko-HAF"															
Feature	Attribut	Dimension	Genaueigkeit	Verknüpfung	Beschreibung / Beispiel	vom Fahrzeug gelieferte Daten	vom Fahrzeug benötigte Daten	vom Fahrzeug gelieferte Daten	vom Fahrzeug benötigte Daten	vom Fahrzeug gelieferte Daten	vom Fahrzeug benötigte Daten	vom Fahrzeug gelieferte Daten	vom Fahrzeug benötigte Daten	vom Fahrzeug gelieferte Daten	vom Fahrzeug benötigte Daten
Fahrspur	Fahrspur begrenzungen	3D	cm		Modellierung durch Spline, Polyline o.ä. als Mittellachse der realen Begrenzungslinie mit Angabe der Strichbreite; Angabe von Begrenzungstyp, ggf. Höhe (bei Bordstein und Leitplanke) in cm und Farbe; Mehrere	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	Typ				Linie, Gestrichelt, Bordstein, Grasnarbe, ...	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	Fahrspurzuordnung	-	-	x	Zuordnung jeder Begrenzung zur zugehörigen Fahrspur	A	A	-	B	-	B	-	A	A	A
	Markierungselemente	2D	cm		Detaillierung der Fahrspurbegrenzung; Bei gestrichelter Linie: Genaue geometrische Beschreibung (z.B. als Polygon) jedes einzelnen Striches und der Abstände dazwischen.	B	A	-	C	-	C	-	B	-	C
	Link-Verknüpfungen			x		-	-	-	?	-	?	-	?	-	A
	Straßentyp / Klasse					-	A	-	A	-	A	-	A	-	A
	Geschwindigkeit / Querneigung / Steigung				Straßenebene	A	A	B	A	B	A	B	A	A	A

Abbildung 190: Auszug aus der Anforderungsliste der Kartenattribute an AP1.

Ebenso gab es für die Eigenlokalisierung zahlreiche Abstimmungsrunden betreffend der Qualität und der Eigenschaften, die benötigt werden. Die Ergebnisse wurden in einem gemeinsamen Dokument zusammengetragen.

### 3.4.1.4 Umsetzung im Projekt

Sowohl die Situationsanalyse als auch die Umfeldmodellierung wurden partnerspezifisch umgesetzt und von den einzelnen Projektpartnern für die Versuchsträger implementiert.

Für die Umfeldmodellierung / Fusion wurden – beginnend mit der Ermittlung von Anforderungen an Umfeldmodell und Verhaltensmodell – Konzepte getestet und Lösungen implementiert. Dabei kamen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz, beispielsweise gitterbasierte Ansätze (Occupancy Grids). Damit verbunden waren Verbesserungen in verschiedenen Bereichen, wie Klassifikation und Tracking von Objekten für eine spätere Situationsanalyse und Prädiktion, die Erweiterung des Erfassungsbereiches zur besseren Heckbereichsabdeckung für ein hochdynamisches Umfeld usw.

Die nachgelagerte Situationsanalyse baut direkt auf der Umfeldmodellierung / Fusion auf und ermöglicht die Auswahl des richtigen Fahrverhaltens. Dazu werden auch hier bestehende Konzepte verbessert bzw. durch Analysen entsprechende Anforderungen ermittelt. Für beide Teilbereiche trägt die Simulation deutlich dazu bei, implementierte Konzepte zu testen und zu verbessern. Einige Partner haben deshalb im Bereich der Simulationsumgebungen entsprechende Voraussetzungen geschaffen und geeignete Module implementiert.

Nach den ersten Tests in Dudenhofen, bei denen die beteiligten Projektpartner die umgesetzte Umfeldmodellierung in ihren Versuchsträgern auf dem Prüfgelände testen und bewerten konnten, standen im letzten Jahr die Verbesserung und Anpassung für verschiedene Fahraufgaben, wie z.B. das automatisierte Einfädeln, an. Die statischen Umfelddaten und die fahrzeuglokale Sensorik bildeten hierbei die Grundlage und ermöglichten eine fusionierte

Repräsentation des Umfeldes. Damit ließen sich die beschriebenen Funktionen für den automatisierten Normal- und Notbetrieb realisieren.

Ebenso konnten einige Partner die Kommunikation mit dem Safety Server einbinden, um damit Fahrversuche auf dem Prüfgelände durchzuführen. Dabei hilft die Übermittlung des aktuellen statischen Umfelds an das Fahrzeug, ein konsistentes Gesamtbild der fahrzeuglokalen Umgebung aufzubauen.

Neben den Testfahrten auf verschiedenen Testgeländen waren die Projektpartner mit ihren Versuchsträgern auf diversen Autobahnen unterwegs, um Messdaten zu sammeln (Ko-HAF-Teststrecke um Frankfurt, Bundesstraße B45 zwischen dem Hanauer Kreuz und Dudenhofen, und andere). Zu Projektende konnten sämtliche Fahrdemos auf der Ko-HAF-Abschlussveranstaltung in Dudenhofen erlebt werden.

Die folgenden Bilder zeigen die partnerspezifischen Umsetzungen der Umfeldmodellierung:

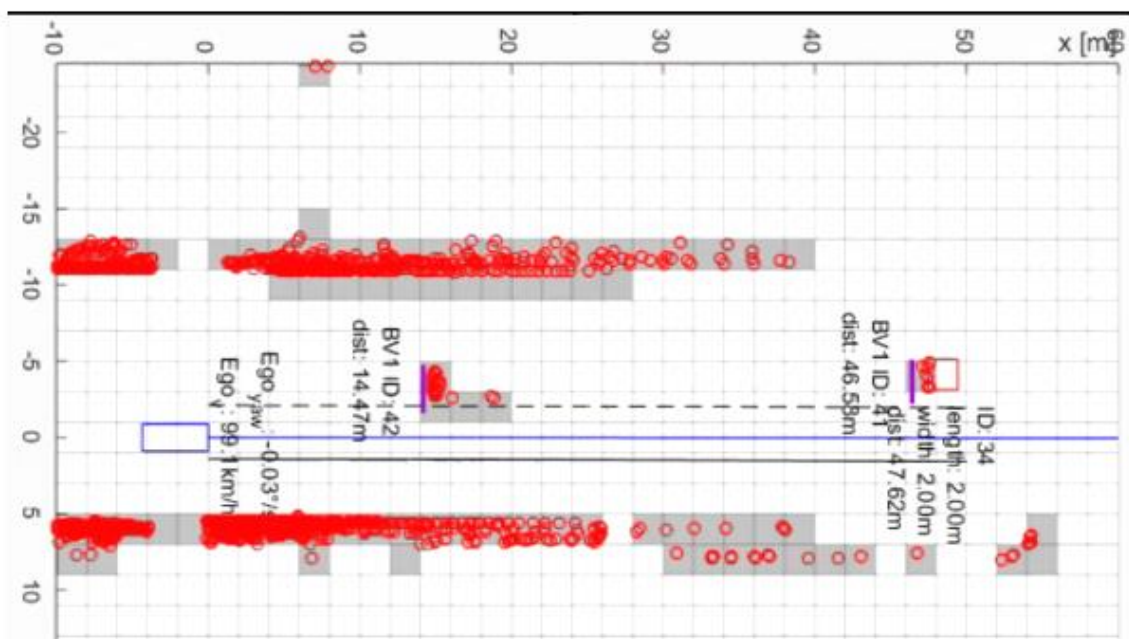


Abbildung 191: TU Braunschweig, Institut für Fahrzeugtechnik: Visualisierung des Umfeldes mit erkannter Berandung, Linien und dynamischen Objekten.

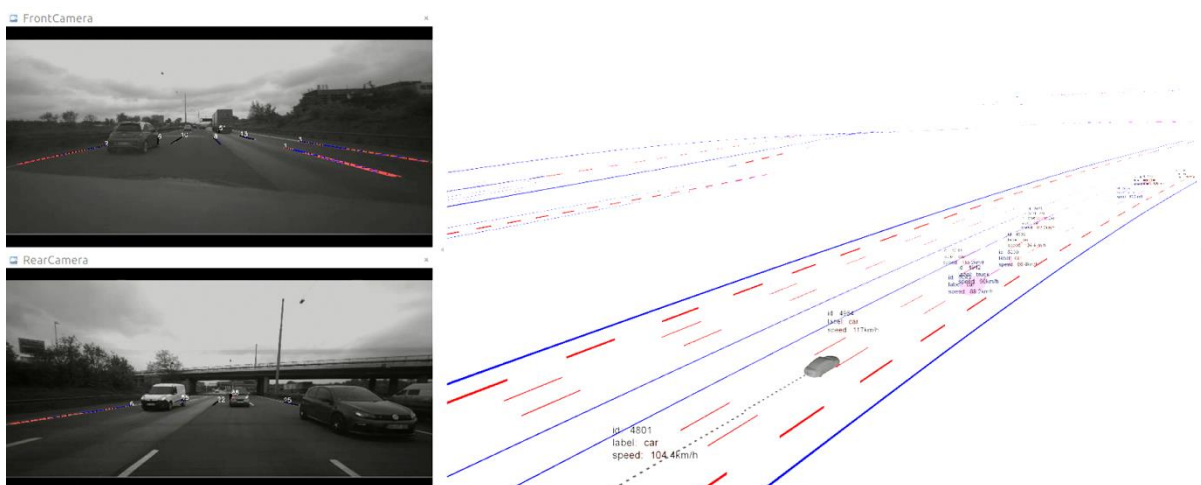


Abbildung 192: Opel: Umfelderkennung und Visualisierung. Links sind zwei Bilder von Front- und Heckkamera zu sehen; rechts die komplette Umfelddarstellung mit Spurmarkierungen und erkannten Objekten. Das Ego-Fahrzeug ist dunkel dargestellt; die Umfeldobjekte enthalten eine Identifikationsnummer, eine Klassifizierung sowie die gemessene Geschwindigkeit.



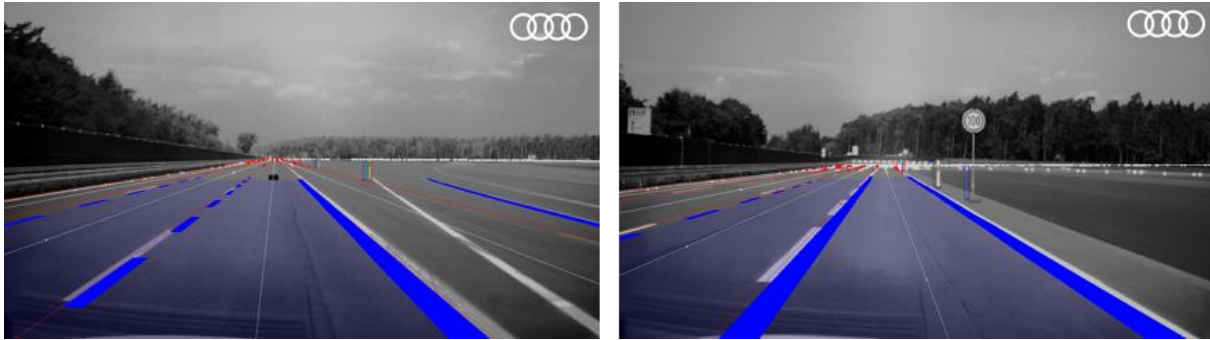


Abbildung 193: Audi: Umfelderkennung und Visualisierung. Das rechte Bild zeigt die Lange Gerade in Dudenhofen, das linke Bild das Ende der Teststrecke mit der kommenden Ausfahrt. Die erkannten Linien sind blau markiert.



Abbildung 194: Continental Teves: Modell für die Umfelderkennung aus Sensoren und Karte (links oben); fusioniertes Umfeldmodell aus statischen und dynamischen Elementen (links unten); erkannte Linien und deren Repräsentation (rechts).

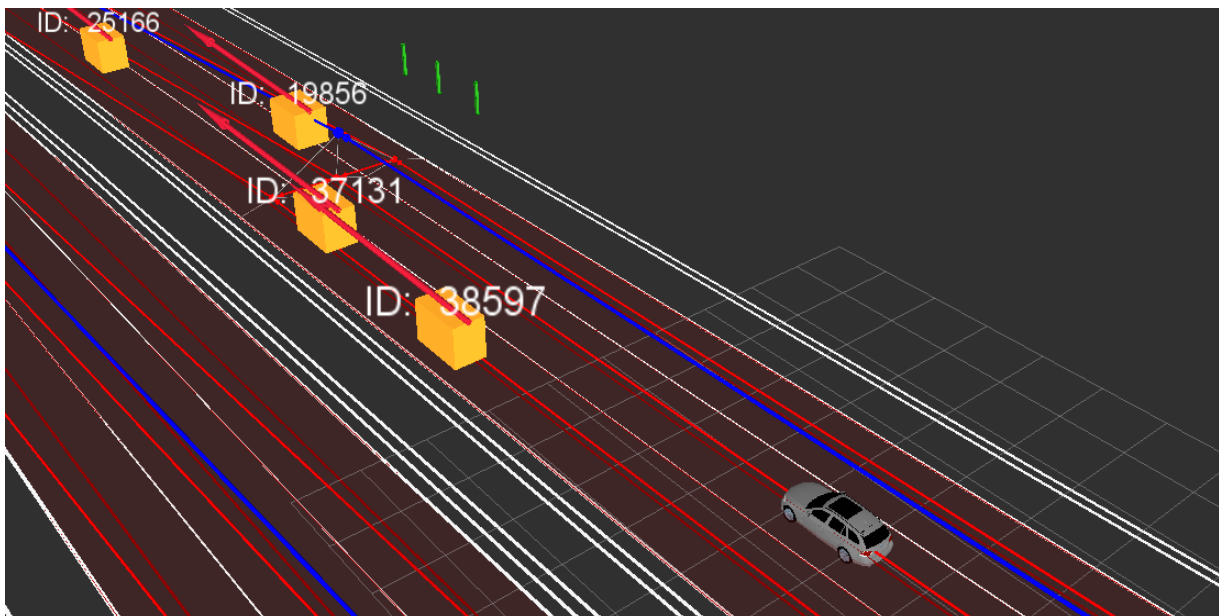


Abbildung 195: Bosch: Fusionierte Umfeldrepräsentation einer dreispurigen Autobahn in beide Richtungen. Unten rechts in grau ist das Egofahrzeug zu sehen; der vorausfahrende Verkehr wird durch gelbe Boxen dargestellt.

## 3.4.2 UAP4.2 Normalfunktionen

### 3.4.2.1 Ziel der Normalfunktionen von Ko-HAF

Die Ko-HAF-Normalfunktionen sollen zu einer deutlichen Erhöhung der Verkehrssicherheit an Autobahnauffahrten und -abfahrten sowie an Fahrspurenden beitragen. Ziel der Forschungsarbeiten war die Realisierung von Funktionen, die den Fahrer entlasten, indem sie die Fahrzeugführungsaufgabe während des entsprechenden Vorgangs vollständig übernehmen. Die entwickelten Funktionen sind dazu in der Lage, das Fahrzeug in Normalsituationen sicher und automatisiert auf der Autobahn zu führen, an Auffahrten oder Fahrspurenden in den gemischten Verkehr einzufädeln und an Abfahrten hochautomatisiert auszufahren. Im Folgenden werden die Konzepte zur Umsetzung der einzelnen Fahrfunktionen beschrieben:

### 3.4.2.2 Konzept zur Aktivierung der hochautomatisierten Fahrfunktionen

Das Konzept zur Aktivierung der hochautomatisierten Fahrfunktionen (HAF-Funktionen) setzt sich aus einem Interaktionskonzept und einem Ablauf für die Funktionsaktivierung zusammen.

Das Interaktionskonzept umfasst eine Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI), die dem Fahrer die Aktivierbarkeit der HAF-Funktion mitteilt, und eines oder mehrere Bedienteile, um die Funktion zu aktivieren.

Ein Ablauf der Funktionsaktivierung sieht folgendermaßen aus:

- HAF-Funktion überprüft folgende Aktivierungsbedingungen
  - Die Sensorsicht ist ausreichend, um die automatisierte Fahrzeugführung zu erlauben
  - Fahrzeug befindet sich auf einer Autobahnauffahrt oder auf einer Autobahn
  - Vorderfahrzeug befindet sich in ausreichendem Abstand zum HAF-Fahrzeug
  - Alle Funktionsmodule sind verfügbar und bereit (Objektdetektion, Trajektorienplanung usw.)
- Partnerspezifisches HMI teilt dem Fahrer die Verfügbarkeit des HAF-Systems mit
- Fahrer aktiviert die HAF-Funktion per Bedienteil
- Die erfolgreiche Aktivierung wird dem Fahrer angezeigt

Die HAF-Funktion ist ab diesem Moment für die Fahraufgabe verantwortlich. Sie überwacht das Umfeld, folgt der Route und steuert alle notwendigen Aktoren für die Fahrzeugführung selbstständig an.

### 3.4.2.3 Konzept für automatisiertes Auffahren und Einfädeln

Das hochautomatisierte Auffahren und Einfädeln an Autobahnen erfordert neben der Eigenlokalisierung (siehe UAP2.2) eine Umfeldmodellierung mit den Informationen der digitalen Karte sowie eine Situationsanalyse (vgl. UAP2.1 und 4.1). Von besonderer Bedeutung ist dabei das Ermitteln von Freiräumen zwischen den Fahrzeugen im fließenden Verkehr. Aus dem Umfeldmodell werden Handlungsstrategien abgeleitet. Davon wird eine ausgewählt und eine Solltrajektorie für den Einfädelvorgang berechnet. Entlang dieser Trajektorie wird das Fahrzeug mit Hilfe einer längs- und querdynamischen Fahrzeugführung auf die Autobahn gelenkt. Falls kein gefahrloser Einfädelvorgang möglich ist, bleibt das Fahrzeug am Ende des Beschleunigungsstreifens stehen und wartet auf eine Fahrerübernahme. Eine wesentliche Herausforderung besteht darin, die verschiedenen Einzelfunktionalitäten in ein Gesamtsystem zu integrieren.

Eine besondere Variante des Einfädels stellt der Spurwechsel bzw. das Reißverschlussverfahren am Ende einer Fahrspur dar. Besondere Herausforderungen sind hier hohe Differenzgeschwindigkeiten gegenüber dem Fahrspurende und die Detektion des Fahrspurendes selbst, die nur mit der Unterstützung des Safety Servers mit ausreichender Präzision gelingen kann.

Bereits im ersten Halbjahr 2016 wurden im Rahmen von UAP4.2 projektpartnerübergreifend Konzepte für die zu entwickelnden Fahrfunktionen „Auffahren“ und „Abfahren“ erarbeitet und eine Funktionsbeschreibung erstellt, die in die drei Abschnitte Szenarien, Randbedingungen und Funktionsablauf gegliedert ist.

## Szenarien

Grundsätzlich ähneln sich das Einfädeln von einem Auffahrtstreifen und das Einfädeln bei einem wegfallenden (also endenden) Fahrstreifen. Da die Rahmenbedingungen jedoch unterschiedlich sind, wurde festgelegt, den wegfallenden Fahrstreifen separat zu betrachten (siehe Abbildung 196). So lässt sich die Komplexität der Funktion reduzieren.

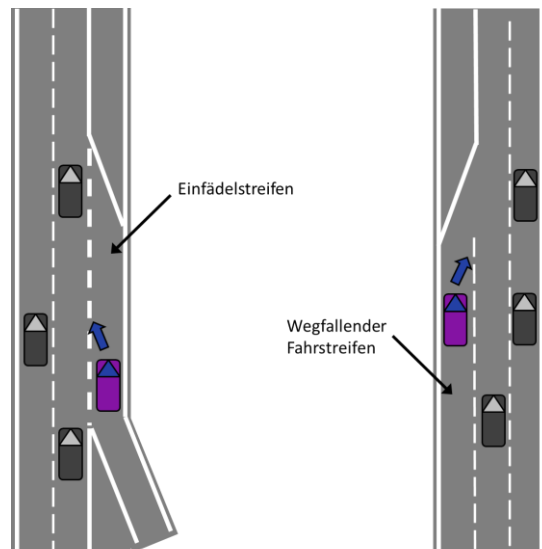


Abbildung 196: Teil-Szenarien Auffahren (links) und wegfallender Fahrstreifen (rechts).

## Randbedingungen

Für die Umsetzung der HAF-Funktion „Auffahren auf die Autobahn“ werden mehrere partnerübergreifend abgestimmte Randbedingungen angenommen:

- Ein Ko-HAF-Versuchsträger ist in der Lage, automatisiert einem Fahrstreifen zu folgen (Autobahnauffahrt und Autobahn) sowie einen systeminitiierten Fahrstreifenwechsel durchzuführen.
- Die Sensorik ist so ausgelegt, dass andere Verkehrsteilnehmer auf dem Zielfahrstreifen detektiert, ihre Intentionen prädiziert und ihre Verhaltensweisen erkannt werden, damit ein unfallfreies Einfädelmanöver garantiert werden kann.
- Zur Bewältigung des zweiten Szenarios „Wegfallender Fahrstreifen“ werden im Ko-HAF-Versuchsträger Informationen zur Position des Einfädelstreifen-Endes benötigt. Diese werden entweder über die Onboard-Sensorik oder über das Safety Server Frontend im Fahrzeug bereitgestellt.

## Funktionsablauf beim automatisierten Auffahren

Nachdem nun der örtliche Rahmen (Szenarien) und die funktionale Einschränkung festgelegt sind, wird in diesem Abschnitt ein Funktionsablauf vorgestellt:

Das HAF-Fahrzeug befindet sich im Start-Szenario, das heißt auf der Auffahrrampe bzw. auf dem Einfädelstreifen. Der Fahrer hat die Kontrolle über das Fahrzeug. Sind die Aktivierungsbedingungen für die HAF-Funktion erfüllt, wird dem Fahrer dies mittels eines partnerspezifischen Interaktionskonzeptes mitgeteilt.

Im nächsten Schritt aktiviert der Fahrer die HAF-Funktion. Ab diesem Zeitpunkt übernimmt die HAF-Funktion die Fahraufgabe, hält das Fahrzeug automatisiert im Fahrstreifen und wählt eine

angemessene Geschwindigkeit. Sobald die bauliche Trennung auf der linken Seite des Fahrstreifens zu Ende ist, versucht das HAF-System automatisiert eine Lücke zu detektieren.

Abhängig von der Belegung des Zielfahrstreifens plant die HAF-Funktion ein Einfädel-Manöver. Dafür gibt es mehrere Optionen:

- Ziel-Fahrstreifen ist frei. Ein Wechsel kann mit einer komfortablen Quer- und Längsdynamik durchgeführt werden
- Ziel-Fahrstreifen ist belegt.
  - Lücke detektiert: Das HAF-Fahrzeug adaptiert seine Geschwindigkeit soweit, dass ein optimaler Fahrzustand für einen Fahrstreifenwechsel erreicht wird. Anschließend wird ein Fahrstreifenwechsel mit der notwendigen Dynamik durchgeführt, um in die Lücke einzufädeln. Ein Fahrstreifenwechsel darf dabei gemäß §7 Absatz 5 der Straßenverkehrsordnung<sup>34</sup> nur dann durchgeführt werden, „wenn eine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer ausgeschlossen ist“.
  - Keine Lücke detektiert: Das Fahrzeug folgt weiter dem Einfädelstreifen und passt seinen Fahrzustand abhängig von der partnerspezifischen Fahrstrategie an. Konnte bis zum Ende des Einfädelstreifens kein Wechsel durchgeführt werden, muss das HAF-Fahrzeug systeminitiiert rechtzeitig vor dem Ende des Einfädelfahrstreifens zum Stillstand kommen. Der Zeitpunkt und die Art und Weise für die Benachrichtigung des Fahrers zur Übernahme der Fahraufgabe kann partnerspezifisch festgelegt werden.

Nach erfolgtem Fahrstreifenwechsel ist der Auffahrvorgang beendet, und das Fahrzeug folgt weiter automatisiert dem Fahrstreifen der Autobahn.

#### 3.4.2.4 Konzept für automatisiertes Abfahren

Gleich zu Projektbeginn stellte sich heraus, dass ein gemeinsames Verständnis der Teilfunktion „Automatisiertes Abfahren von der Autobahn“ erarbeitet werden muss, um sich über mögliche Konzepte austauschen zu können. Dazu wurde im ersten Projektquartal in Arbeitspaket 4 (AP4) eine Task-Force gegründet und ihr die Aufgabe übertragen, für die verschiedenen Teilfunktionen detaillierte Szenarienbeschreibungen zu erarbeiten. Hierbei ergaben sich speziell sehr ausgiebige Diskussionen mit AP3, denn AP3 beschäftigte sich mit den Konzepten für Übergabe der Fahrzeugkontrolle an den Fahrer. Da einige Beteiligte aus AP4 auch in AP5 aktiv waren, ließ sich ein gemeinsames Verständnis für das Abfahrtszenario sehr schnell erzielen.

Bei der Automation eines Abfahrsvorgangs müssen fahrzeugseitig auf Basis der erkannten Situation, die in der Umfeldbeschreibung abgelegten Fahrstreifen und der Verzögerungsstreifen explizit auf ihre Eignung zur Abfahrt in Bezug auf Länge und Position bewertet werden. Eignet sich der Raum für das automatisierte Abfahren, wird ein automatisierter Fahrstreifenwechsel auf den Verzögerungsstreifen eingeleitet. Zusätzlich erfolgt rechtzeitig eine Aufforderung an den Fahrer, die Fahrzeugkontrolle wieder zu übernehmen. Für den Fall, dass der Fahrer diese nicht bestätigt, wird ein Minimal-Risk-Manöver durchgeführt und das Auto bis zum Stillstand verzögert, bevor es den kartierten Bereich verlässt.

#### **Funktionsablauf beim automatisierten Abfahren**

Die folgende Funktionsbeschreibung setzt voraus, dass grundlegende Automationsfunktionen, wie z.B. das automatisierte Befahren eines Autobahn-Fahrstreifens oder systeminitiierte Fahrstreifenwechsel unter Berücksichtigung anderer Verkehrsteilnehmer und unter Beachtung der Verkehrsregeln, bereits verfügbar sind. Aus diesem Grund werden diese Funktionen im Folgenden nicht weiter detailliert<sup>35</sup>.

<sup>34</sup> Straßenverkehrsordnung (StVO), siehe: [http://www.gesetze-im-internet.de/stvo\\_2013/index.html](http://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/index.html).

<sup>35</sup> Entscheidung am 03.12.2015 im Rahmen des Ko-HAF AP4-Quartaltreffens.

## **Ausgangssituation**

Der Versuchsträger befährt im automatisierten Fahrbetrieb den durchgehenden rechten Fahrstreifen einer Autobahn und nähert sich einem Verzögerungsstreifen. Das System hat die Intention auf diesen Verzögerungsstreifen zu wechseln. Die Intention kann hierbei systeminitiiert, z.B. durch Routenvorgabe, oder fahrerinitiiert, z.B. durch Manövrierung durch Betätigen des Fahrtrichtungsanzeigers oder eines anderen geeigneten Bedienelements, zur Verfügung stehen.

## **Gefordertes Systemverhalten**

Das System aktiviert selbstständig den Fahrtrichtungsanzeiger vor Erreichen des Verzögerungsstreifens und initiiert im Anschluss selbstständig einen Fahrstreifenwechsel nach rechts auf den Verzögerungsstreifen. Der Versuchsträger wechselt unter Beachtung anderer Verkehrsteilnehmer selbstständig auf den Verzögerungsstreifen und passt dabei die Geschwindigkeit den situationsspezifischen Erfordernissen an. Hierbei versucht der Versuchsträger den Fahrstreifenwechsel möglichst frühzeitig durchzuführen, da so die Gefahr verringert werden kann, dass ein nachfolgendes Fahrzeug ebenfalls auf den Verzögerungsstreifen wechselt und der Fahrstreifenwechsel dadurch deutlich komplizierter wird.

Ist ein Wechsel auf den Ausfädelstreifen nicht möglich (z.B. aufgrund eines Unfalls oder eines Rückstaus), informiert das System den Fahrer und fährt automatisiert weiter. Ist die vorausliegende Strecke nicht automatisiert durchfahrbar, erfolgt zusätzlich eine Aufforderung zur Fahrerübernahme.

## **Endsituation**

Je nach implementiertem Funktionsumfang endet das Szenario mit einer erfolgreichen Fahrerübernahme entweder am Ende des Verzögerungsstreifens oder am Ende der Verbindungsrampe, die zur Rastanlage oder der untergeordneten Straße führt.

Anmerkung: Darüber hinaus kann die Abfahrtautomatation als eine Teilfunktion der Funktion „Autobahnkreuze“ aufgefasst werden, wobei in diesem Falle das System aktiv bleibt und keine Fahrerübernahme erfolgt.

Grundlegend stellt sich hier die Frage, ob eine Übergabe am Ende des Verzögerungsstreifens sinnvoll ist. Laut RAA<sup>36</sup> ist ein Ausfädelstreifen ca. 150m lang. Wird dieser mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 75km/h befahren, besteht ein maximales Zeitfenster von 7 Sekunden bis zum Beginn der Rampe. Im Regelfall wird der Fahrstreifenwechsel aber nicht sofort bei Eröffnung des Fahrstreifens durchgeführt, und zusätzlich benötigt das System noch einen gewissen Zeitraum zum Überführen des Fahrzeuges in einen sicheren Zustand für den Fall, dass der Fahrer nicht übernimmt. Dadurch ist der für eine Fahrerübergabe zur Verfügung stehende Zeitraum nahezu gleich Null. Somit ist dieses Szenario für ein Serienfahrzeug sicherlich nicht sinnvoll. Im Rahmen von Ko-HAF kann es hingegen betrachtet werden, da am Steuer ein Testfahrer agiert und somit eine rechtzeitige Übernahme sichergestellt ist.

### **3.4.2.5 Konzept für die Fahrerübernahme nach automatisiertem Abfahren**

Die Funktionsbeschreibung für die Fahrerübernahme folgt dem gleichen Schema wie für die Abfahrtautomatation. Auch hier verbleiben wieder Freiheitsgrade, die partnerindividuelle Implementierungen ermöglichen. Die Beschreibung erfolgt hier aus der Sicht von AP4 – also der Funktionsentwicklung. Weitere Einzelheiten zur Entwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle für die Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und dem Fahrer finden sich in Kapitel 3.3.

---

<sup>36</sup> Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), 2008.

## **Ausgangssituation**

Der Versuchsträger befährt im automatisierten Fahrbetrieb den Verzögerungstreifen oder die Verbindungsrampe, die zur Rastanlage oder einer untergeordneten Straße führt. Das System versucht, die Kontrolle über das Fahrzeug wieder an den Fahrer zu übergeben und hat diese Intention frühzeitig über die HMI-Schnittstelle dem Fahrer mitgeteilt.

## **Gefordertes Systemverhalten**

Das System erkennt, wenn der Fahrer die Kontrolle übernommen hat. Nach erfolgter Fahrerübernahme wird die Funktion „hochautomatisiertes Fahren auf der Autobahn“ abgeworfen.

## **Endsituation**

Je nach Implementierung kann das System nach erfolgreicher Übernahme sämtliche System-Eingriffe wie z.B. Lenkmoment sofort deaktivieren (Szenario endet sofort) oder es kann während einer Übergangsphase die Eingriffe langsam reduzieren; das Szenario endet dann erst nach dieser Übergangsphase.

### 3.4.2.6 Auswahl der Auf- und Abfahrten

Der ursprüngliche Auftrag an 3D-Mapping umfasste lediglich die Kartierung der Autobahn selbst, aber nicht die Kartierung der Auf- und Abfahrten. Für das automatisierte Abfahren von der Autobahn ist jedoch eine hochgenaue Karte der Abfahrtsrampe zwingend erforderlich. Auf Anfrage erklärte sich 3D-Mapping bereit, zusätzlich zur Autobahn noch drei Auf- und Abfahrten hochgenau zu kartieren. Diese Auf- bzw. Abfahrten wurden nach den folgenden Kriterien ausgewählt.

#### 1. Radius der Abfahrtsrampe

Der Radius ist aus zwei Gründen ein kritisches Element beim Abfahren. Zum einen wird für enge Radien ein hohes Lenkmoment benötigt. Bei automatisierten Serienlenkungssystemen ist aber aus Sicherheitsgründen häufig das Lenkmoment, das automatisch angelegt werden kann, begrenzt. Der zweite Grund liegt darin, dass die Sensoren immer „geradeaus schauen“ – also parallel zur Fahrzeuglängsachse ausgerichtet sind – und somit mit abnehmendem Radius einen immer kleineren Ausschnitt des vorausliegenden Straßensegments erfassen. Daher wurden Abfahrten mit großen Radien für die Rampen gewählt.

#### 2. Länge des Verzögerungstreifens

Für die Sensorik ist das frühzeitige Erkennen eines neuen Fahrstreifens, in diesem Fall des Verzögerungstreifens, sehr schwer. Ein langer Verzögerungstreifen bietet somit – vor allem in der Erprobungsphase – die Möglichkeit, den Fahrstreifen so frühzeitig zu erkennen, dass noch automatisiert abgefahren werden kann. Im Projekt Ko-HAF hat jeder Versuchsträger über den Safety Server Zugriff auf eine hochgenaue Karte, die zusätzliche Informationen über sich öffnende Fahrstreifen zur Verfügung stellt. Diese zusätzlichen Informationen können genutzt werden, um den Zeitraum zum Erkennen neuer Fahrstreifen zu verkürzen.

#### 3. Notwendigkeit eines Fahrstreifenwechsels für einen Abfahrvorgang

Bei vielen Abfahrten auf der Ko-HAF-Teststrecke geht der rechte Fahrstreifen direkt in den Verzögerungstreifen über. Somit entfällt der typische Fahrstreifenwechsel beim Abfahren. Deshalb wurden nur Abfahrten gewählt, bei denen sich ein neuer Fahrstreifen öffnet und somit ein Fahrstreifenwechsel für das automatisierte Abfahren zwingend erforderlich ist.

#### 4. Schnelle Wiederauffahrt auf die Autobahn möglich

Bei der Auswahl der Ausfahrten wurde auch auf räumliche Nähe der Ausfahrten zueinander geachtet, damit Testfahrten mit wiederholtem Auf- und Abfahren möglichst



kurzgehalten werden können. Die Anschlussstellen der Ko-HAF-Teststrecke rund um Frankfurt wurden auf die oben genannten Kriterien hin untersucht. Die folgenden drei Anschlussstellen genügten den Kriterien am besten und wurden für eine Kartierung durch 3D-Mapping ausgewählt (siehe Abbildung 197):

1. Auffahrt Zeppelinheim / Abfahrt Frankfurt-Süd
2. Auf- / Abfahrt Frankfurt-Eckenheim
3. Auf- / Abfahrt Frankfurt-Heidenheim

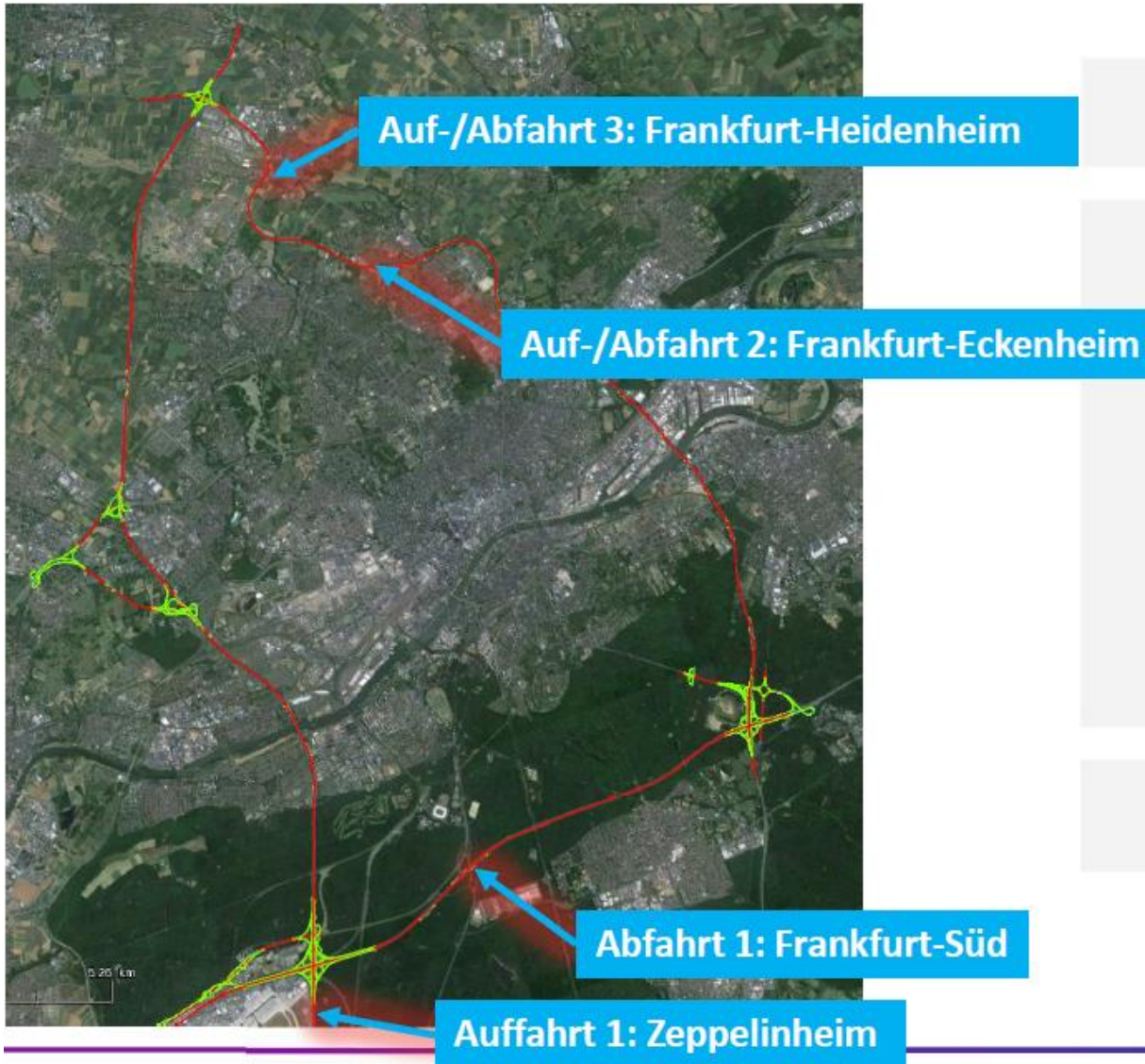


Abbildung 197: Ausgewählte Anschlussstellen auf der Ko-HAF-Teststrecke um Frankfurt.

### 3.4.2.7 Umsetzung und Test der Fahrfunktionen

In der zweiten Hälfte der Projektlaufzeit wurden die entwickelten Konzepte von den Partnern individuell in ihren Versuchsträgern umgesetzt. Parallel dazu wurden mehrere Testsessions auf dem Opel Test Center Dudenhofen veranstaltet, bei denen die Partner Gelegenheit bekamen, ihre automatisierten Fahrfunktionen ausgiebig zu testen und zu verfeinern.

Die Teststrecke „Lange Gerade“ in Dudenhofen wurde dazu ebenfalls von 3D-Mapping hochgenau kartiert. Die Teststrecke verfügt über einen autobahnähnlichen Abschnitt von ca. 1,5 km Länge mit zwei Fahrstreifen und einem Standstreifen. Eigens für Ko-HAF wurden ein Einfädelstreifen und eine Ausfahrtspur aufgebracht. Der Standstreifen wurde genutzt, um dort statische Objekte zu detektieren, wie z.B. Pannenfahrzeuge oder Baustellen-Anhänger. Im

letzten Halbjahr waren alle Teilnehmer von AP4 mit der Vorbereitung der Abschlussveranstaltung beschäftigt. Dabei wurden die Szenarien vorgestellt und abgestimmt. Bei den letzten Testterminen in Dudenhofen gab es für alle Partner die Gelegenheit, die Szenarien zu validieren und abzusichern.

### 3.4.2.8 Demonstration der Fahrfunktionen auf der Ko-HAF-Abschlussveranstaltung

Auf der Abschlussveranstaltung im September 2018 hat der Partner Continental Teves im Rahmen von UAP4.2 zwei Versuchsträger zum Einsatz gebracht. Einer befuhr die Teststrecke „Lange Gerade“ auf dem Opel Testgelände, um die Normalfunktionen zu demonstrieren (Abbildung 198); Nach dem Auffahren und Einfädeln und einer automatisierten „Autobahn“-Fahrt wurde am Ende der Teststrecke die automatisierte Abfahrt gezeigt (Abbildung 199). Es wurden jeweils zwei Runden auf der Langen Geraden gefahren; so konnten zwei Varianten des Einfädelns mit Hilfe des in UAP5.2 entwickelten Koordinationstools erlebt werden. In der ersten Runde beschleunigte der Versuchsträger leicht auf dem Auffahrtstreifen, um sich zwischen zwei synchronisierten Hasenfahrzeugen einzufädeln. In der zweiten Runde verzögerte der Versuchsträger und fädelte sich hinter den synchronisierten Hasenfahrzeugen ein.

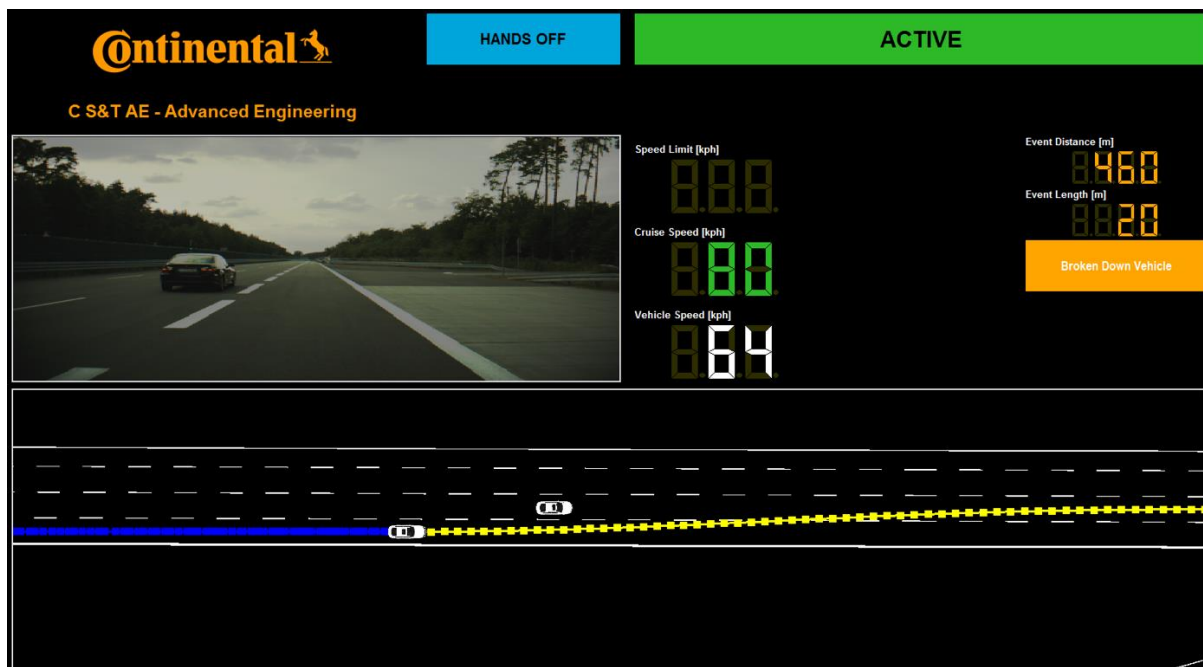


Abbildung 198: Auffahrt und Einfädeln hinter einem Hasenfahrzeug auf die Lange Gerade in Dudenhofen; blau: gefahrene Trajektorie, gelb: geplante Trajektorie.



Abbildung 199: Aufnahme am Anfang des Ausfahrstreifens von der Langen Geraden in Dudenhofen; das Hasenfahrzeug auf der linken Spur wird von der Sensorik und auf der Umfeldarstellung gezeigt.

Dieselben Funktionen wurden im öffentlichen Verkehr mit dem zweiten Versuchsträger auf der Bundesstraße B45 zwischen Dudenhofen / Rodgau und Obertshausen demonstriert (Abbildung 200 und Abbildung 201).



Abbildung 200: Auffahren und Einfädeln auf die B45 bei Rodgau-Dudenhofen in Richtung Norden.



Abbildung 201: Abfahrt von der B45 bei Rodgau-Dudenhofen in Richtung Süden.

Opel bot auf dem Testgelände eine Fahrdemonstration an, die die folgenden Anwendungsfälle zeigte: Automatisiertes Auffahren und Einfädeln, automatisiertes Überholen, Erkennen und Melden einer Wanderbaustelle (Abbildung 202) sowie automatisiertes Abfahren von der Teststrecke. Weiterhin wurde in der Abfahrt eine Fahrerübernahmeaufforderung ausgegeben und ein Sicherheitsmanöver durchgeführt, falls der Fahrer die Kontrolle nicht innerhalb der vorgegebenen Zeit übernommen hatte.

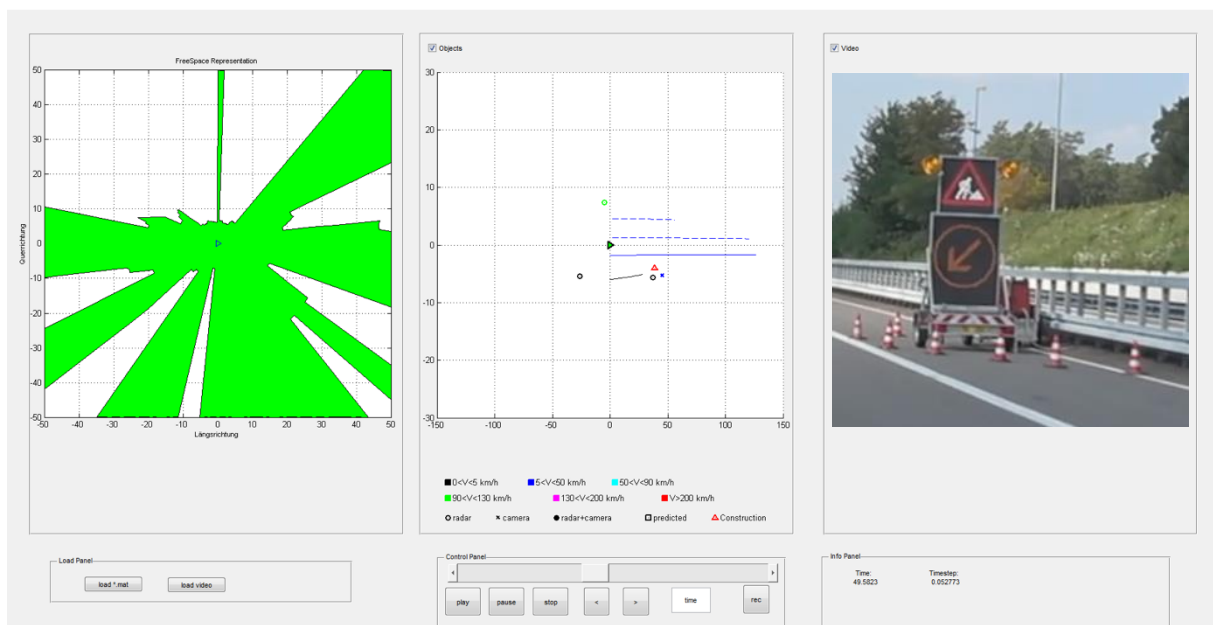


Abbildung 202: Detektion einer Wanderbaustelle: Freifeldererkennung, Umfelddarstellung und Kamerabild (v.l.n.r.).

### 3.4.3 UAP4.3 Gefahrenstellen

In enger Zusammenarbeit mit AP1 und AP2 wurde im Rahmen von Task 4.3.1 ein Konzept für die Meldung von Gefahrenstellen an den Safety Server erarbeitet.

Weiterhin wurden die Parameter definiert, die eine Meldung an den Safety Server enthalten muss, um Position und Art der Gefahrenstelle eindeutig zu definieren. Auch das Format für die Datenübertragung wurde spezifiziert.

Gefahrenstellen, die durch die **Sensorik des Ego-Fahrzeuges** erkannt werden, befinden sich in so naher Entfernung, dass meist nur eine unmittelbare **taktische** Reaktion des Fahrzeuges möglich ist, die z.B. ein Brems- oder Ausweichmanöver sein kann. Innerhalb von T4.3.2 wurde



ein Konzept für den taktischen Umgang mit Gefahrenstellen erarbeitet und danach partner-spezifisch in den Versuchsträgern umgesetzt.

Eine Zielsetzung des Forschungsvorhabens Ko-HAF war es jedoch, mit Hilfe von **Informationen des Safety Servers** den Fahrerhorizont soweit zu erweitern, dass eine vorausschauende, **strategische** Reaktion auf bekannte, vom Backend-Server kommunizierte Gefahrenstellen ermöglicht wird. Die frühzeitige Kommunikation erlaubt die Festlegung und Umsetzung einer geeigneten Strategie zum Umgang mit der Gefahrenstelle (T4.3.3).

Die Handhabung dieser beiden verschiedenen Arten von Gefahrenstellen unterscheidet sich also maßgeblich in der Zeit bis zum Erreichen der Gefahrenstelle und den damit einhergehenden Optionen zum Umgang mit der Gefahrenstelle.

#### 3.4.3.1 Konzept für den Umgang mit Gefahrenstellen

Das im Rahmen von Ko-HAF erstellte Konzept unterscheidet zunächst erst einmal nicht zwischen beiden Gefahrenstellentypen, sondern erarbeitet basierend auf den Merkmalen der Gefahrenstelle mögliche Handlungsstrategien. Die Umsetzbarkeit der Handlungsstrategien wird aber eingeschränkt durch die verfügbare Zeit bis zum Erreichen der Gefahrenstelle, so dass für die Umsetzung abhängig von der verfügbaren Zeit gegebenenfalls unterschiedliche Strategien angewandt werden.

Im Folgenden wird das Verfahren zur Bestimmung der Fahrstrategie beschrieben:

1. Festlegung der zu berücksichtigenden Gefahrenstellen
2. Erarbeitung der Merkmale jeder Gefahrenstelle
3. Für jedes Merkmal
  - a. Bestimmung der potenziellen Auswirkung auf herannahende Fahrzeuge
  - b. Bestimmung des Risikos für herannahende Fahrzeuge
  - c. Bestimmung der etwaigen Notwendigkeit einer Fahrerübernahme
  - d. Erarbeitung von Handlungsmöglichkeiten zur Risikominimierung für das Ego-Fahrzeug
  - e. Ermittlung einer geeigneten Fahrstrategie basierend auf einer Risikoanalyse
4. Fusionierung der Fahrstrategieänderungen der einzelnen Merkmale zu einer Gesamtstrategie für jede Gefahrenstelle

##### 3.4.3.1.1 Festlegung der zu berücksichtigenden Gefahrenstellen

Vom Backend-Server können verschiedene Arten von Gefahrenstellen kommuniziert werden, z.B. Staus, gesperrte Fahrstreifen, Baustellen, Liegenbleiber oder Geisterfahrer. Die Ego-Sensorik erkennt ebenfalls unterschiedliche Gefahrenstellen, wie etwa Gegenstände auf der Fahrbahn, Liegenbleiber oder Baustellenschilder.

Im Konsortium wurden daher mehrere Gefahrenstellen definiert, deren Erkennung und Meldung auf der Abschlusspräsentation demonstriert werden sollten:

- Liegenbleiber auf dem Standstreifen
- Baustellenanhänger auf dem Standstreifen
- Fahrbahnsperrung (bzw. Stau-Ende)
- Objekt auf der Fahrbahn am Beispiel einer Ski-Box.

Die Gefahrenstellen können entweder vom Backend-Server kommuniziert oder aber von der Fahrzeugsensorik detektiert worden sein.

Für die beispielhafte Darstellung des Konzeptes wird im Folgenden exemplarisch der Liegenbleiber auf der Standspur betrachtet.

##### 3.4.3.1.2 Erarbeitung der Merkmale jeder Gefahrenstelle

Jede Gefahrenstelle hat spezifische Merkmale. Diese Merkmale können Auswirkungen auf herannahende Fahrzeuge haben. In einem ersten Schritt sind jegliche Merkmale einer jeden

Gefahrenstelle aufzulisten, die in irgendeiner Form eine Auswirkung auf den nachfolgenden Verkehr haben könnten. Hierbei gibt es sowohl Merkmale, die für eine gegebene Gefahrenstelle immer zutreffen, als auch Merkmale, die eine Gefahrenstelle möglicherweise kennzeichnen.

Beispielsweise ist die Standspur im Bereich des Liegenbleibers nicht nutzbar. Sie könnte auch aber in der Umgebung des Liegenbleibers nicht oder nur eingeschränkt nutzbar sein, weil sich dort evtl. weitere Fahrzeuge befinden oder Personen auf der Standspur aufhalten.

#### 3.4.3.1.3 Bestimmung der potenziellen Auswirkung auf herannahende Fahrzeuge

In einem zweiten Schritt ist für jedes Merkmal einer Gefahrenstelle dessen Auswirkung auf den nachfolgenden Verkehr zu bestimmen. Beispielsweise ist eine Auswirkung des Liegenbleibers auf der Standspur, dass diese im Bereich des Liegenbleibers für den nachfolgenden Verkehr nicht nutzbar ist.

#### 3.4.3.1.4 Bestimmung des potenziellen Risikos für herannahende Fahrzeuge

Jede Auswirkung eines relevanten Merkmals bedeutet für den nachfolgenden Verkehr ein spezifisches Risiko, das zu bestimmen ist. Beispielsweise wird die Standspur zwar im hochautomatisierten Normalbetrieb nicht befahren, aber es besteht das Risiko, dass sie in einer Notfallsituation nicht benutzbar ist.

#### 3.4.3.1.5 Bestimmung der etwaigen Notwendigkeit einer Fahrerübernahme

Einhergehend mit der Identifikation einer geeigneten Handlungsstrategie ist zu bestimmen, inwieweit diese automatisiert ausgeführt werden kann bzw. ob bei unzumutbarem Risiko eine Fahrerübernahmeaufforderung erfolgen muss.

Im Falle des Liegenbleibers auf der Standspur ist das Risiko für das Fahrzeug auf der Fahrspur zu bewerten.

#### 3.4.3.1.6 Erarbeitung von Handlungsmöglichkeiten zur Risikominimierung für das Ego-Fahrzeug

Für das Ego-Fahrzeug ergeben sich Handlungsmöglichkeiten in lateraler und longitudinaler Richtung. Die Handlungsmöglichkeiten sind weiterhin abhängig von der aktuellen Fahrspur des Ego-Fahrzeuges.

##### 3.4.3.1.6.1 Lateral: Orientierung des Fahrzeuges in Richtung einer Spurmarkierung

Im Normalzustand fährt das Fahrzeug in der Mitte der Fahrspur. Dies bietet den besten Kompromiss hinsichtlich

- präzisem Folgen der Fahrspur bzw. Vermeiden der Annäherung an eine der beidseitigen Spurmarkierungen
- zügigem Spurwechsel zu einer benachbarten Fahrspur
- Gefährdung durch Fahrzeuge auf benachbarten Spuren

Gibt es jedoch eine deutlich erhöhte einseitige laterale Gefährdung des Fahrzeuges, so kann es vorteilhaft sein, zur Gefährdungsminimierung unter Abwägung obiger Kriterien die laterale Positionierung innerhalb der Fahrspur zur gefährdungsabgewandten Seite hin zu verschieben.

Die Größe der lateralen Verschiebung wird jedoch durch die begrenzte Breite der Fahrspur und einen minimal einzuhaltenden Abstand zur seitlichen Spurmarkierung eingeschränkt.

##### 3.4.3.1.6.2 Lateral: Spurwechsel auf zweite Spur

Bei einer erhöhten Gefährdung durch einen Liegenbleiber auf der Standspur kann es zur Risikominimierung sinnvoll sein, einen erhöhten lateralen Abstand zur Gefährdungsstelle zu schaffen durch einen Spurwechsel von der rechten zur zweiten Fahrspur. Für eine solche Entscheidung ist zu berücksichtigen:



- Die potenzielle Gefährdung durch den Liegenbleiber ist erhöht bei bekannt schmaler Standspur.
- Die Beeinträchtigung des fließenden Verkehrs durch das Besetzen der zweiten Spur bei gleichzeitigem gesetzlichem Verbot des Passierens des Ego-Fahrzeuges durch andere Fahrzeuge auf der rechten Fahrspur. Die Beeinträchtigung anderer Verkehrsteilnehmer kann abhängig sein vom Verkehrsaufkommen, der Anzahl der verfügbaren Fahrspuren und der Relativgeschwindigkeit der nachfolgenden Fahrzeuge.
- Etwaige ungeplante und unbeherrschte Reaktionen von Fahrern nachfolgender Fahrzeuge, die den Grund des vermeintlich unnötigen Fahrspurwechsels nicht nachvollziehen können und dadurch die Gefährdungssituation deutlich erhöhen können. Bei einem strategischen Spurwechsel sollte dieser daher nicht zu weit vor der Gefahrenstelle durchgeführt werden.
- Zur Erhöhung der Sicherheit angesichts der vorausliegenden Gefahrenstelle ist eine Geschwindigkeitslimitierung auch auf der zweiten Fahrspur in Betracht zu ziehen. Dies erhöht jedoch zusätzlich die Beeinträchtigung anderer nachfolgender Verkehrsteilnehmer.

#### 3.4.3.1.6.3 Longitudinal: Geschwindigkeitslimitierung, ggf. bis 0 km/h

Das Sicherheitsrisiko ist am höchsten für Fahrzeuge auf der rechten Fahrspur. Schon in einiger Entfernung vor dem Liegenbleiber ist mit Bremsmanövern vorausfahrender Fahrzeuge zu rechnen, nachdem deren Fahrer den Liegenbleiber gesichtet haben. Weiterhin ist mit Situationen zu rechnen, die abweichend sind von der kommunizierten Gefahrenstelle. Insbesondere ist mit der Möglichkeit zu rechnen, dass es Einschränkungen hinsichtlich der Befahrbarkeit der rechten Fahrspur gibt. Daher muss die Geschwindigkeitslimitierung auf der rechten Spur so ausgelegt sein, dass ein ungeplantes Sicherheitsmanöver basierend auf der Ego-Sensorik mit minimalem Risiko durchgeführt werden kann.

Die Gefährdung anderer Fahrzeuge sinkt mit steigendem lateralem Abstand zum Liegenbleiber. Entsprechend sind fahrspurspezifische Geschwindigkeitslimitierungen sinnvoll.

Um die Gefährdung nachfolgender Fahrzeuge zu minimieren, sind Geschwindigkeitslimitierungen frühzeitig in Form von stetigen Rampen mit gleichmäßigen Geschwindigkeitsgradienten anzuwenden. Die Geschwindigkeitsgradienten müssen es nachfolgenden Fahrzeugen erlauben, sich gefahrlos an die reduzierte Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeuges anzupassen.

#### 3.4.3.1.6.4 Longitudinal: Anpassung des Abstands zum vorausfahrenden Fahrzeug

Durch den Liegenbleiber ergibt sich eine erhöhte Gefährdung für den fließenden Verkehr, die in plötzlichen Bremsmanövern vorausfahrender Fahrzeuge resultieren kann. Ursachen hierfür können u.a. sein:

- Bremsmanöver vorausfahrender Fahrzeuge nach Sichtung des Liegenbleibers
- Fahrzeuge, die zur Vorbereitung des Wechsels auf die Standspur stark abbremsen
- Fahrzeuge, die von der Standspur auf die rechte Fahrspur wechseln wollen

Daher ist insbesondere auf der rechten Fahrspur eine Erhöhung des minimalen Fahrzeugabstands im erweiterten Bereich des Liegenbleibers sinnvoll.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, abhängig von der kommunizierten Gefahrenstelle bestimmte vorausliegende vom Ego-Fahrzeug derzeit nicht geplante Spuren zu sperren und so einen Spurwechsel in eine Spur mit erhöhtem Risiko zu vermeiden. Wird die Standspur gesperrt, so wird dies Auswirkungen auf die Planung von Notfalltrajektorien haben.

Nach der Festlegung der Handlungsmöglichkeiten ist eine Verifizierung hinsichtlich der Umsetzbarkeit innerhalb der verbleibenden Strecke bzw. Zeit bis zum Erreichen der Gefahrenstelle nötig.

### 3.4.3.1.7 Demonstration des Umgangs mit Gefahrenstellen auf der Abschlussveranstaltung

Der Umgang mit Gefahrenstellen wurde von den in UAP4.3 beteiligten Partnern individuell umgesetzt und auf der Abschlussveranstaltung auf dem Opel-Testgelände demonstriert. So wurde eine Ski-Box beispielsweise von Audi auf der Teststrecke sensorisch erkannt und die Gefahr an den Safety Server gemeldet. Das Fahrzeug von BMW empfing sodann die Meldung vom Safety Server und konnte die Gefahrenstelle mit einem strategischen Manöver weiträumig umfahren.

Opel detektierte den Baustellenanhänger auf dem Standstreifen (siehe Abbildung 203) und bekam die Gefahrenmeldung bei der nächsten Testfahrt über den Safety Server eingespielt.

Continental Teves bekam auch die Position des Liegenbleibers über den Safety Server eingespielt und konnte darauf mit einem strategischen Manöver reagieren (Abbildung 203). Da der Spurwechsel auf die linke Fahrspur dank der rechtzeitigen Servermeldung frühzeitig erfolgen konnte, ist dieser auf der Umfelddarstellung nicht mehr zu sehen.

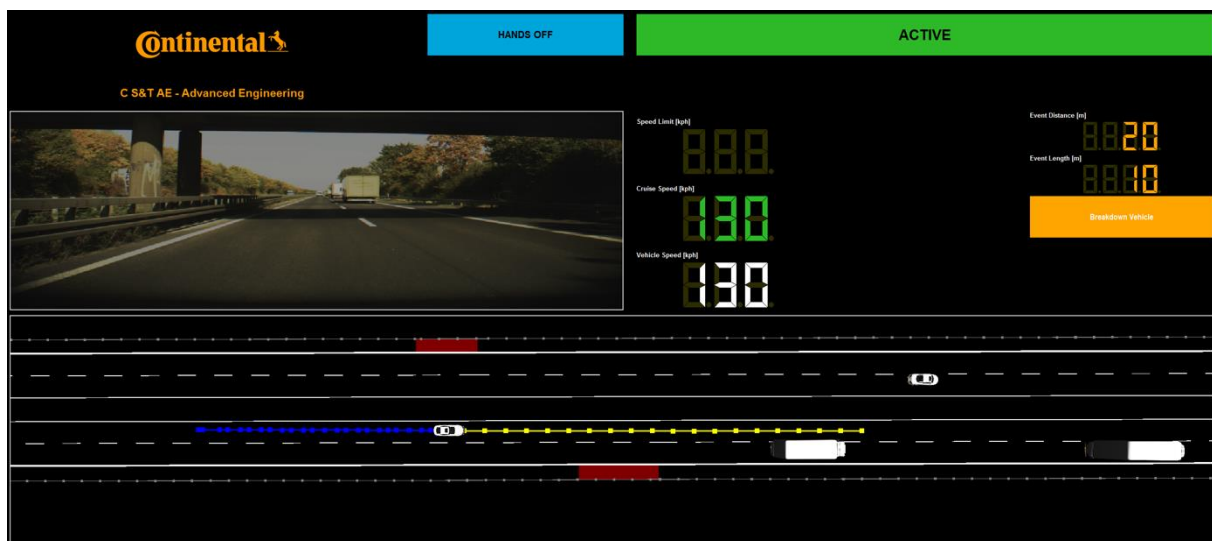


Abbildung 203: Die vom Server gemeldete Position des Liegenbleibers wird im Conti-HMI rot dargestellt.

Auch die Server-Meldung über ein vorausliegendes Stau-Ende wurde vom Continental-Versuchsträger ausgewertet und mit einem frühzeitigen Bremsmanöver beantwortet.

## 3.4.4 UAP4.4 Fahrzeug und sicherer Betrieb

### 3.4.4.1 Risikominimaler Betrieb und sicherer Zustand

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Tasks 4.4.1 und 4.4.2 dokumentiert. Dabei liegt der Fokus auf der Beschreibung des risikominimalen Zustandes und der Manöver zur Überführung des Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand.

Im Förderprojekt Ko-HAF werden hochautomatisierte Fahrfunktionen betrachtet, die laut BAST und SAE-Definition der Automatisierungsstufe 3 entsprechen. Diese technische Klassifizierung beschreibt sowohl, welche Aufgaben das System selbst wahrnimmt als auch, welche Aufgaben / Anforderungen an den Fahrer gestellt werden. In Stufe 3 erkennt das System selbstständig die Systemgrenzen – also den Punkt, an dem die Umgebungsbedingungen nicht mehr dem Funktionsumfang des Assistenzsystems entsprechen. In diesem Fall fordert das Fahrzeug den Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe auf. Der Fahrer muss die Längs- und Querverführung des Fahrzeugs nicht mehr dauerhaft überwachen. Er muss jedoch dazu in der Lage sein, nach Aufforderung durch das System mit einer gewissen Zeitreserve die Fahraufgabe wieder zu übernehmen (Quelle: VDA-Magazin, Stand Sept. 2015). Die Notwendigkeit dieser Zeitreserve wurde bereits in der Vorhabenbeschreibung aufgeführt.

Studien (z.B. Daniel Damböck, Automationseffekte im Fahrzeug – von der Reaktion zur Übernahme, Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, 16.07.2013)

haben gezeigt, dass Fahrer, die nicht mehr ständig an der Fahraufgabe beteiligt sind, wesentlich mehr Zeit benötigen, um nach einer Übernahmeaufforderung die Fahrzeugführung wieder zu übernehmen. Es dauert einige Sekunden, bis der Fahrer die vorherrschende Verkehrssituation analysiert, eine passende Maßnahme ausgewählt und die notwendigen Handlungen eingeleitet hat.

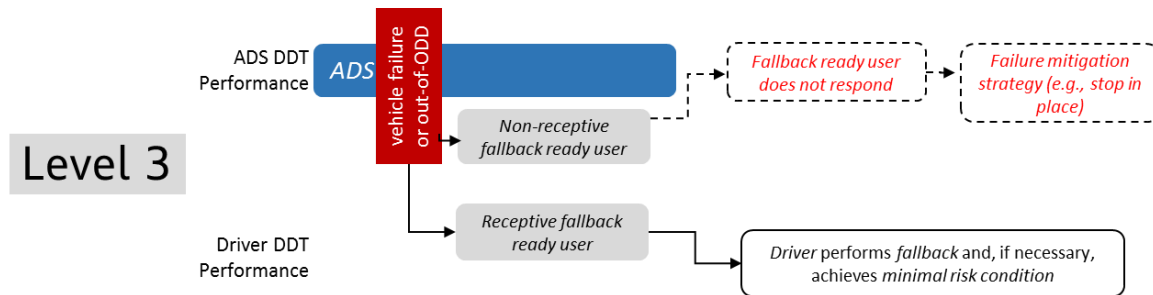


Abbildung 204: Fehlerauslösungen und Rückfallebenen.

In Abbildung 204 sind die unterschiedlichen Fehlerauslösungen und Rückfallebenen aufgeführt. Diese werden in den folgenden Abschnitten genauer beleuchtet.

Eine Übernahmeaufforderung an den Fahrer wird aktiviert, sobald eine Grenze des Wirkbereichs der Fahrfunktion (z.B. Autobahnende, Ländergrenze, Geschwindigkeitsgrenzen etc.) erreicht wird oder ein Fehler in der Fahrfunktion auftritt.

Ein Fehler kann dabei in der Fahrfunktion selbst oder in einer beliebigen Komponente des Fahrzeuges auftreten. Dies kann beispielsweise ein Ausfall eines Sensors für die Fahrstreifenmittelführung sein, aber auch ein Bruch einer Fahrwerkskomponente. Je nach Schwere des Fehlers kann eine Einschränkung des Funktionsumfangs (z.B. bei geringerer Sensorreichweite eine geringere Maximalgeschwindigkeit) oder auch eine Fahrerübernahmeaufforderung erfolgen.

Sendet das System die Übernahmeaufforderung, so sollte im Normalfall der Fahrer innerhalb der Zeitreserve die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen. Hierzu wird während der Fahrt der Zustand des Fahrers erfasst und erkannt, ob er in der Lage ist die Fahrzeugführung wieder zu übernehmen.

Wenn der Fahrer nicht mehr in der Lage ist, die Kontrolle zu übernehmen – etwa aus gesundheitlichen Gründen oder weil er eingeschlafen ist – muss ein risikominimales Manöver ausgeführt werden.

Dieses wird abhängig von verschiedenen Einflussparametern durchgeführt. Dazu zählen beispielsweise

- bauliche Randbedingungen (Straßentyp, Standstreifen ja / nein, Haltebucht ja / nein)
- externe Umgebungsbedingungen (Straßentyp, Verkehrsdichte)
- Schwere und Art des Fehlers (Bruch in Fahrwerkskomponenten, Ausfall Antrieb, Ausfall Sensoren, ...)
- Risiko des Manövers (Queren von mehreren Fahrstreifen im dichten Verkehr zum Erreichen des Standstreifens)

In einem Level-3-System ist der Stillstand im eigenen Fahrstreifen als risikominimaler Zustand immer erlaubt, da der Fahrer laut Definition von BASt und SAE als Rückfallebene für das System zur Verfügung steht.

Im nächsten Abschnitt werden die unterschiedlichen Umsetzungen der Partner in den jeweiligen Versuchsträgern beschrieben. Dabei lag der Fokus darauf, unterschiedlichste Manöver zu implementieren und deren Machbarkeit zu validieren.

Continental Teves hat das Manöver zum Erreichen des risikominimalen Zustandes so konzipiert, dass eine Auslösung dann stattfindet, wenn nach einer vom System initiierten Fahrerübernahmeaufforderung keine Fahrerübernahme erfolgt.

Eine Fahrerübernahmeaufforderung wird immer dann gesendet, wenn während einer hochautomatisierten Fahrt eine Systemgrenze erreicht wird, zum Beispiel durch einen Sensorausfall, eine fehlende Karte oder das Ende einer Autobahnausfahrt.

Übernimmt der Fahrer die Führung des Autos, folgt kein risikominimales Manöver (MRM – MinimalRiskManeuver). Dauert aber die menschliche Übernahme zu lange (einstellbar), wird ein risikominimales Manöver durchgeführt.

Zwei unterschiedliche Fälle werden hier betrachtet: Entweder ist ein Seitenstreifen erreichbar oder nicht. Wenn ein Seitenstreifen erreicht werden kann (und Karte und Integrität des Fahrzeuges es noch erlauben), wird ein Spurwechsel-Manöver durchgeführt, bis der Seitenstreifen bzw. Standstreifen erreicht ist. Ist kein Seitenstreifen erreichbar oder befindet sich das Fahrzeug bereits auf dem Seitenstreifen, so wird ein risikominimales Manöver in der Spur durchgeführt.

Während des risikominimalen Manövers wird das Fahrzeug mit einer einstellbaren, negativen Beschleunigung verzögert, bis es den Stillstand erreicht. Die Verzögerung ist abhängig von der Umfeldwahrnehmung: Ist diese gut, kann die Verzögerung komfortabel erfolgen; wenn nicht wird eine stärkere Bremsung eingeleitet.

Vom Starten des MRMs bis zum Fahrzeugstillstand wird der Fahrer weiterhin aufgefordert die Fahrzeugführung zu übernehmen. Sobald der Fahrer übernimmt, wird das MRM abgebrochen, und das System wechselt in den manuellen Modus. Erfolgt die Übernahme auch nach dem Erreichen des Stillstandes nicht, wird ein Notruf (e-Call) abgesetzt.

Für die Tests auf dem Prüfgelände wurde von Opel eine Funktion zur Überführung in den risikominimalen Zustand prototypisch umgesetzt. Sobald die Umfelderkennung keine plausiblen Daten mehr liefert oder nach einer Übernahmeaufforderung der Fahrer nicht die Fahrzeugkontrolle übernimmt, wird das Fahrzeug mit 0,3g bis in den Stillstand abgebremst. Zusätzlich wird der Fahrer durch einen einmaligen Bremsruck ermahnt die Fahrzeugkontrolle zu übernehmen.

Im Audi-Versuchsträger wurde der oben aufgeführte Fall „Ende des Wirkbereichs einer Fahrfunktion“ beispielhaft umgesetzt und implementiert. Dafür wurde die funktionale Architektur der Normalfunktion angepasst und um die benötigte Funktionalität erweitert.

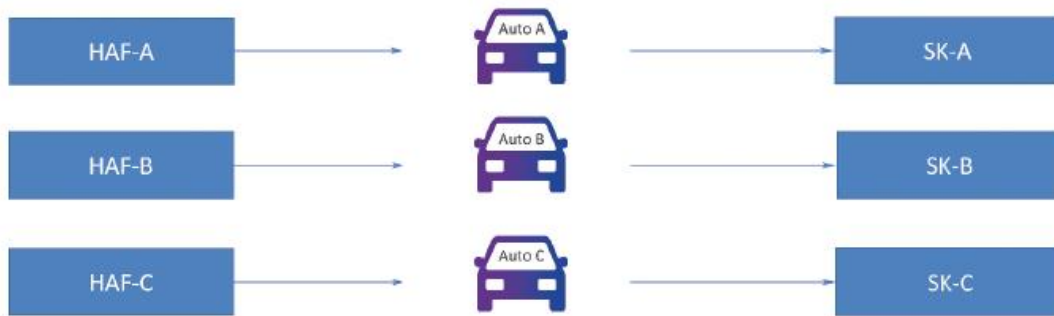
Das Erreichen einer Domänengrenze (in diesem Fall Autobahnende) wird dem Fahrer bereits mit ausreichender Vorausschau (abhängig von der aktuellen Fahrgeschwindigkeit) mitgeteilt.

Die Übernahmeaufforderung wird visuell und akustisch dargestellt. Übernimmt der Fahrer auch nach einer festgelegten Zeit die Fahrzeugführung nicht, so wird der Übergang in den risikominimalen Zustand eingeleitet. Dafür werden die akustischen Hinweise intensiviert und haptische Rückmeldungen ergänzt (Bremsrucke, Gurtstraffer usw.). Außerdem wird die Geschwindigkeit sukzessive reduziert. Dies erfolgt solange, bis entweder der Stillstand erreicht wird oder der Fahrer übernimmt.

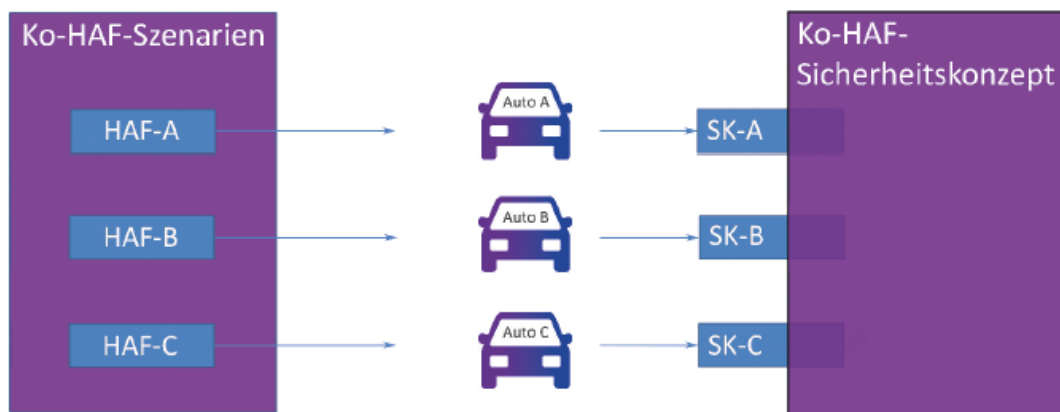
#### 3.4.4.2 Sicherheitskonzept für den Erprobungsbetrieb auf öffentlichen Straßen

Von den beteiligten Partnern wurde gemeinsam ein Sicherheitskonzept erarbeitet (T4.4.3) und auf der Ko-HAF-Zwischenpräsentation 2017 in Aschaffenburg präsentiert:

Die zu entwickelnden Fahrfunktionen in UAP4.2 und 4.3 werden sowohl auf dem Prüfgelände als auch auf der öffentlichen Straße getestet. Dabei greifen die HAF-Systeme aktiv auf die Bewegungsaktoren zu, steuern diese mit den berechneten Sollsignalen an und führen damit das Fahrzeug entlang einer gewünschten Trajektorie. Es handelt sich hierbei um prototypische Systeme, die noch nicht fehlerfrei sind. Um beispielsweise die Folgen einer fehlerhaften Fahrspurdetektion einzugrenzen, soll ein partnerübergreifendes Sicherheitskonzept entwickelt werden. Die größte Herausforderung dabei ist, dass alle Partner ein eigenes Fahrzeug aufbauen und diese sich in der funktionalen und technischen Architektur sowie bezüglich der verwendeten Aktoren unterscheiden.



Ziel ist es, für die Ko-HAF-Szenarien einheitliche Randbedingungen zu bestimmen, die im jeweiligen Fahrzeug partnerspezifisch umgesetzt werden.



Inhalte und Detaillierung dieses gemeinsamen Leitfadens wurden bei einem Workshop im Rahmen eines Quartalstreffens erarbeitet.

Im Zuge dieser Überlegungen wurden fünf Teilbereiche ermittelt:

- Aktivierung des HAF-Systems
- Betrieb des HAF-Systems
- Deaktivierung des HAF-Systems
- Aktorik-Überwachung
- Insassensicherheit im Fahrzeug

Die Aktivierung des Systems ist nur durch eine explizite, aktive Handlung des Sicherheitsfahrers möglich. Damit wird vermieden, dass sich das System von selbst aktiviert und der Sicherheitsfahrer seine Rolle als Überwacher nicht korrekt wahrnehmen kann. Als aktive Handlung wird hierbei die Betätigung einer Taste oder ein Sprachbefehl verstanden. Ebenso darf das System nach einem fehlerbedingten oder durch Systemgrenzen bedingten Abwurf nicht automatisch reaktiviert werden.

Während des Betriebs des Systems auf öffentlichen Straßen (aber auch auf Testgeländen) ist es essenziell, dass der Sicherheitsfahrer sich ausschließlich um die Überwachungsaufgabe kümmert. Bedienung, Steuerung und Debugging des Systems führt ein Beifahrer durch.

Die Deaktivierung des Systems erfolgt in erster Linie über Tasten, Pedale und Lenkrad. Für den Fall, dass ein schwerwiegender Fehler auftritt, sind in allen Versuchsträgern Notaus-Pilze für die Aktorik verbaut. Damit wird die Ansteuerung der Aktoren hardwareseitig getrennt und der Fahrer ist in der Lage das Fahrzeug zu kontrollieren.

Zusätzlich zu diesen Vorkehrungen werden innerhalb der Regelungssoftware die Stellgrößen der Aktoren überwacht und begrenzt. Damit werden alle Fehler in vorgelagerten Modulen der Wirkkette des Systems eingeschränkt und nicht direkt an die Aktoren weitergeleitet.

Der letzte Baustein des Sicherheitskonzeptes ist die Insassensicherheit. Die Serienfahrzeuge aller Partner haben Airbags verbaut, die nur in speziellen Fällen entfernt werden. Ebenso haben sich alle Teilnehmer darauf geeinigt, Sonderverbauten nicht lose im Fahrzeug zu verlegen, sondern so sicher zu verbauen, dass von diesen auch im Falle eines Verkehrsunfalls keine Gefahr für die Insassen ausgeht.

#### 3.4.4.3 Fahrzeugaufbau

Im Rahmen von Task 4.4.4 wurde der Aufbaustatus der verschiedenen Versuchsträger über die Projektlaufzeit dokumentiert. Für eine detaillierte Darstellung der verbauten Komponenten wird auf die einzelnen Schlussberichte der Projektpartner verwiesen.

### 3.5 AP5 Absicherung – Erprobung und Validierung

Unter der Leitung von CSEI wurde innerhalb des AP5 zunächst eine Methodik erarbeitet, die einen wesentlichen Beitrag zu einer effizienten Qualifizierung von HAF-Systemen liefert. Die Methodik umfasst die Bereiche virtuelle Erprobung, Testfelderprobung und Nachweis im öffentlichen Straßenverkehr. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Erprobung von HAF-Systemen noch in einem ökonomisch vernünftigen Rahmen bleibt, bei gleichzeitiger Sicherstellung einer zufriedenstellenden Nachweisführung der benötigten Qualität der HAF-Systeme. Im Rahmen von AP5 wurden dann auch exemplarisch die entwickelten Prüfmethode anhand der in Ko-HAF entwickelten Funktionen erstmals angewendet.

Die einzelnen Schritte von der Methodik bis hin zur Bewertung der hochautomatisierten Fahrfunktion sind in den nachfolgenden Kapiteln detailliert aufgeführt.

#### 3.5.1 Testmethodik

Im UAP 5.1 wurde unter der Leitung von IFF zunächst eine Testmethodik erarbeitet und später dann ein Fahrscenarien-Katalog mit den sog. Basis-Szenarien erstellt.

Im Rahmen dieses Abschlussberichtes wird die erarbeitete Basisstruktur der Testmethodik zur effizienten Erprobung hochautomatisierter Fahrfunktionen im öffentlichen Straßenverkehr, auf dem Prüfgelände und in der Simulation vorgestellt. Ein grundlegender Bestandteil der Methodik ist der Katalog abzuschließender Szenarien. Durch ihn werden die im Rahmen der Funktionsentwicklung/-definition in AP4 adressierten Use-Cases abgedeckt. Durch einen modularen Aufbau wird gewährleistet, dass alle zu erprobenden Test-Cases berücksichtigt werden können. Konzept und Aufbau des Szenarienkatalogs werden im zweiten Teil dieses Kapitels erläutert.

Neben der zentralen Fragestellung, ob das HAF-System in relevanten Szenarien mit einer angemessenen Handlung reagiert, stehen unter anderen folgende Fragestellungen im Fokus der Methodikentwicklung:

- Wie können relevante Umgebungsbedingungen greifbar gemacht und überschaubar beschrieben werden?
- Was sind die „richtigen“ Testfälle? Was wird für eine funktionale Erprobung eines HAF-Systems benötigt?
- Wie kann vergleichbar, effizient und reproduzierbar getestet werden?
- Welche Möglichkeiten / welche Werkzeuge werden für die Erprobung benötigt?

#### Terminologie

Zum Verständnis der Zusammenhänge sind nachfolgend zentrale Begrifflichkeiten, welche im Laufe des Projektes geprägt wurden, zusammengefasst und erläutert (Glossar):

**Basis-Szenario** Erste Sammlung an deskriptiven Parametern auf dem obersten Level der Szenario-Struktur. Direkt aus der Fahraufgabe des automatisierten Fahrzeuges abgeleitet. Beschreibt das Umfeld, in welchem eine gewisse Fahraufgabe durchgeführt werden muss. Wird in Sub-Szenarien unterteilt.



Sub-Szenario	Aufspaltung von Basis-Szenarios, um für dasselbe Untersuchungsziel (Fahraufgabe) komplexe Umgebungsausprägungen/-verhalten zu strukturieren. Primär durch unterschiedliche Ausprägungen des umgebenden Verkehrs beeinflusst.
Manöver	Bewegung eines Fahrzeuges aufgrund einer beabsichtigten Fahraufgabe (beispielsweise Spurhalten, Spurwechsel). Hilfsmittel zur Datenanalyse. Es wird keine Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern beschrieben. Kann Ego- oder Objektbezogen sein.
Deskriptive Parameter (statisch, dynamisch)	Wichtigster Bestandteil zur Beschreibung des Umfeldes mittels Szenarios. Beschreiben das Umfeld in einer relevanten Abstraktion auf einer logischen Ebene. Werden im Basis-Szenario erstmals aufgelistet und werden primär in dynamische (den Verkehr beschreibende) und statische (Straßengeometrien) Parameter unterteilt. Durch Spezifizierung dieser Parameter werden Testfälle gebildet.
Testfall	Für das Testziel ausreichende Beschreibung und Spezifikation aller relevanten Parameter. Durch Datenanalyse und statistische Auswertung ermittelt.
Relevant	Stark auf das Testziel bezogen. Im Sinne einer Eignungsprüfung hinreichende Szenarien, Testfälle und Parameterspezifikationen, mit denen der Normalgebrauch abgedeckt wird.
System	Höchstes Abstraktionslevel in Bezug auf das automatisierte Fahrzeug mit all seinen Hard- und Softwarekomponenten. Das System ermöglicht ein Fahrzeug in einer gewissen Umgebung automatisiert zu fahren. Oftmals auch gleichbedeutend mit (Fahr-)Funktion verwendet.
Umgebung	Einflussgrößen mit denen, in welchen das automatisierte Fahrzeug interagiert. Wird über deskriptive Parameter beschrieben und kann durch Szenarien repräsentiert werden. Umgebungsbestandteile können beispielsweise in Form von Verkehr, Straßengeometrien oder Wittereinflüsse klassifiziert werden.

### 3.5.1.1 Testmethodik

Nachfolgend wird die Methodikentwicklung zur funktionalen Erprobung und der kooperativen hochautomatisierten Fahrfunktionen beschrieben. Der Fokus liegt hierbei auf einer anwendungsfallorientierten und damit aufgabenorientierten Erprobung der Fahrfunktion. Einzelfunktionen, die heute bereits in Serie sind, wie beispielsweise Spurhalteassistent oder Abstandsregeltempomat sollen nicht Bestandteil der Erprobung sein. Fahrfunktionale Aspekte, die im Bereich des hochautomatisierten Fahrens hinzukommen, wie u.a. das Auffahren auf die Autobahn sollen mittels der Testmethodik gezielt untersucht werden.

Um den oftmals in der Literatur erwähnten, enormen Aufwand des Testens hochautomatisierter Fahrfunktionen im realen Verkehr respektive in kontinuierlichen Testläufen zu reduzieren, wird als zentraler Ansatz der Methodik das Szenario-Basierte Testen verfolgt. Hierbei wird die Fahrfunktion in einer gewissen Testumgebung mit definierten Szenarien konfrontiert. Sind die Szenarien als repräsentativ anzusehen und weisen eine geeignete Abdeckung auf, kann von dem Ergebnis der Tests auf die Eignung der Fahrfunktionen im Verkehr geschlossen werden (Hinweis: der Nachweis der Abdeckung ist nicht Bestandteil dieses Berichtes). Zu Beginn des Projektes wurde sich darauf verständigt, als zentrale Fragestellung **die Eignung der Fahrfunktion in für die Aufgabe relevanten Szenarien nachzuweisen**.

Nun gilt es, eine abgestimmte Beschreibung der Szenarien zu entwickeln und diese in den nachgelagerten UAPs weiter zu verwenden.

Der zweite Zentrale Ansatz der Methodik ist das sogenannte Black-Box-Testen. Dieses eignet sich für eine funktionale Erprobung im Sinne einer Eignungsprüfung und dem Ko-HAF Konsortium dahingehend, dass übergeordnete Szenarien vorgeben werden, diese durch die einzelnen partnerindividuellen Fahrfunktionen verarbeitet werden und das jeweilige System im Szenario interagiert, anschließend aber eine übergreifende Auswertung anschließen kann. Beim Black-Box-Testen werden in erster Linie keine systeminternen Signale bewertet. Das System (die Fahrfunktion) wird also als Black-Box behandelt. Der Output der Fahrfunktion stellt je nach Szenario das jeweilige Verhalten dar und wird unter dem Aspekt der Qualifikation ausge- und bewertet.

In diesem Zusammenhang wird das Zusammenwirken aus Fahrzeug und der Fahrfunktion als System für das automatisierte Fahren bezeichnet. Dieses Gesamtsystem steht im Fokus der Untersuchungen. Ziel ist es, das äußerliche Verhalten des Gesamtsystems zu bewerten, welches letztlich aus den Teilsystemen

- Perzeption,
- Handlungsplanung / Entscheidungsfindung und
- Ausführung

resultiert. Wenngleich das äußerlich wahrnehmbare Verhalten maßgeblich durch die Handlungsplanung bzw. Entscheidungsfindung geprägt ist, stellt sie die zentrale Neuerung beim Übergang zum automatisierten Fahren höheren Levels dar.

Die im Projektverlauf entwickelte Methodik wird in drei wesentliche Bestandteile gegliedert. Der erste Teil beinhaltet die Szenarientwicklung. Hier werden auf Basis der in AP4 umzusetzenden Fahrfunktion aufgabenorientierte und spezifische Use-Cases identifiziert und mittels Rahmenbedingungen beschrieben, sodass als Output der Katalog abzuschließender Szenarien entsteht. Der zweite Bereich ist die sogenannte Testfallidentifikation. Hier dient der Szenarienkatalog als Eingang. Ziel ist es, die Szenarien durch Identifikation in diversen Informationsquellen zu beschreiben. Hierzu werden die zunächst generischen Rahmenbedingungen spezifiziert und somit Testfälle erstellt. Die Ermittlung der Testfälle geschieht jedoch in UAP5.2 und wird hier methodisch beschrieben. Der dritte Teil der Testmethodik bezieht sich auf die eigentliche Testprozedur. Hier werden die Testfälle einer Testumgebung zugeordnet, Testspezifikationen berücksichtigt, anschließend durchgeführt und ausgewertet. Auch hier obliegt die inhaltliche Entwicklung der Komponenten den nachgelagerten Arbeitspaketen.

Nachfolgend werden die einzelnen Bestandteile der Methodik genauer beschrieben.

Um geeignete Test-Cases zur Erprobung des hochautomatisierten Fahrens ableiten zu können, werden zunächst relevante, die Funktion charakterisierende Szenarien identifiziert. Um diese Szenarien überschaubar und strukturiert darzustellen besteht der Lösungsansatz nun darin, einen generischen, modular aufgebauten Szenarienkatalog zu entwickeln. Dieser beinhaltet eine möglichst geringe Anzahl an Basis-Szenarien, die durch generische Rahmenbedingungen beschrieben werden. Das Ziel ist es, aus diesen Basis-Szenarien wenige essenzielle bzw. repräsentative Test-Cases in der Testfallgenerierung zu dekomponieren. Der hohe Aufwand in der Testdurchführung soll durch eine adäquate Verteilung der Testfälle auf die Testumgebungen minimiert werden. Die Herausforderung ist dabei jedoch, unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit, den Hauptteil der Erprobung in die Simulation zu verlagern und nur ausgewählte Szenarien im Straßenverkehr zu erproben, die unter realen Verkehrsbedingungen getestet werden müssen. Ziel muss es jedoch sein, die Testkilometer im öffentlichen Raum absolut zu minimieren. Tests im Straßenverkehr können erst nach erfolgreichen Simulations- und Prüfgeländetests durchgeführt werden.

Um das Soll-Verhalten in der Testdurchführung in entsprechenden Test-Cases überprüfen zu können, müssen zunächst wesentliche Szenarien erfasst werden. Dies wird mithilfe eines modularen Szenarienkatalogs realisiert. Das zu untersuchende HAF-System besitzt ein in AP4 definiertes Anwendungsgebiet und einen dementsprechenden Funktionsumfang. Dabei sollen wesentliche Use-Cases vom Auffahren bis Abfahren inklusive Sondersituationen wie Gefahrenstellen berücksichtigt werden.

### 3.5.1.2 Szenarientwicklung

Der erste Schritt auf dem Weg zum Szenarienkatalog ist also die Ableitung von definierten Use-Cases auf Basis der Funktionen, um ein aufgabenorientiertes Testen zu ermöglichen. Durch die Gliederung der Funktion in einzelne Use-Cases (siehe Abbildung 205), können diese später gezielt erprobt werden, und die funktionale Eignung des Gesamtsystems auf die jeweilige Aufgabenstellung bzw. Funktionskomponente bezogen werden.

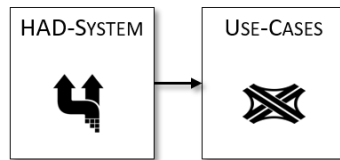


Abbildung 205: Ableiten von spezifischen Use-Cases.

Ausgehend von den Fahraufgaben, die das HAF-System zu bewältigen hat (bspw. das automatisierte Auffahren auf die Autobahn), werden Basis-Szenarien abgeleitet. Dies sind allgemeine Szenarien, die ohne den Systemeinfluss der HAF-Funktion ein Zusammenwirken verschiedener Rahmenbedingungen generisch beschreiben (siehe Abbildung 206). Es entsteht eine konzentrierte Anzahl an Szenarien, welche es erlaubt, im sinnbildlich nächsten Schritt eine Dekomposition der Test-Cases in beliebiger Breite auf Basis der ursprünglichen Use-Cases durchzuführen. Die Basis-Szenarien sind in dem Katalog abzusichernder Szenarien festgehalten.

Das Vorgehen sichert den Bezug zum Use-Case respektive der Fahraufgabe über die verschiedenen Ebenen hinweg und ist essenziell für die funktionale Erprobung. Weiterhin bietet dieses Vorgehen den Vorteil, schon vorab Redundanzen zwischen den späteren Test-Cases zu verringern und so den Aufwand zu minimieren. Durch die Zielsetzung in Ko-HAF werden für die Erprobung in der Realität für das Aufgabengebiet repräsentative Test-Cases abgeleitet. Die generische Generierung unzähliger Test-Cases durch Variation der charakteristischen Rahmenbedingungen, um eine möglichst hohe Abdeckung zu erhalten wird hier nicht primär verfolgt, kann aber grundsätzlich durch die Methodik abgebildet werden. Eine Variation der hier definierten Parameter wird auf die Erprobung in der Simulation (UAP5.3) verlagert.



Abbildung 206: Beschreibung der Basis-Szenarien durch generische Rahmenbedingungen.

Im Szenarienkatalog werden die Rahmenbedingungen gesammelt. Statische und dynamische Rahmenbedingungen beschreiben als charakteristische Parameter jedes Basis-Szenario zunächst generisch. An dieser Stelle der Methodik werden sie nicht mit qualitativen Werten versehen, um so die Vielfalt an Test-Cases zu ermöglichen und eine vollständige Abdeckung der Use-Cases zu gewährleisten. Die charakteristischen Parameter werden dabei auf Basis der zwei wesentlichen Einflussgrößen unterteilt:

- statisches Umfeld, insbesondere die Straßengeometrie,
- dynamisches Umfeld, Position und Verhalten der umgebenden Objektfahrzeuge.

Auf Basis dieser Einteilung werden statische und dynamische Rahmenbedingungen definiert, welche das jeweilige Umfeld ausreichend genug beschreiben. Eine genauere Beschreibung folgt an späterer Stelle.

### 3.5.1.3 Test-Case Identifizierung

Als Eingangsgrößen für die Test-Case Identifizierung werden die zuvor definierten Rahmenbedingungen aufgegriffen, da sie die Einflussgrößen auf das HAF-System darstellen (siehe Abbildung 207). Die Herausforderung im Identifikationsprozess besteht darin, diese bislang generisch beschreibenden Rahmenbedingungen nun mit konkreten Werten zu besetzen.

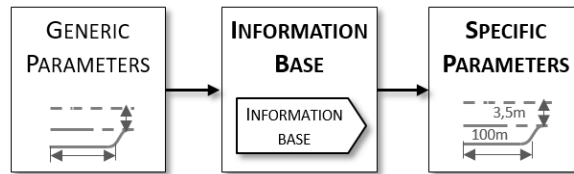


Abbildung 207: Spezifizierung der Rahmenbedingungen als Schnittstelle zwischen Szenarientwicklung und Testprozedur.

Durch eine Analyse dieser Rahmenbedingungen aus geeigneten Informationsquellen bzw. Datenbasen werden in der Testfallgenerierung nun die zu erprobenden Test-Cases generiert. Als Informationsbasis werden gesetzliche Vorgaben als auch Richtlinien herangezogen. Um jedoch ein realistisches Abbild des tatsächlichen Objektverhaltens als auch des statischen Umfeldes abhängig von gesetzlichen Grundlagen zu gewinnen, werden darüber hinaus geeignete Datenbasen notwendig. Für die Identifizierung der statischen Rahmenbedingungen wird die digitale HD-Karte des Ko-HAF Testfeldes (A3, A5, A661), sowie die des Prüfgeländes Dudenhofen herangezogen. Zur Ermittlung eines realen Verkehrsverhaltens werden geeignete, hochgenaue Umfelddaten notwendig. Diese können beispielweise durch präzise Laserscannerreferenzsensoren an Messfahrzeugen aufgezeichnet werden.

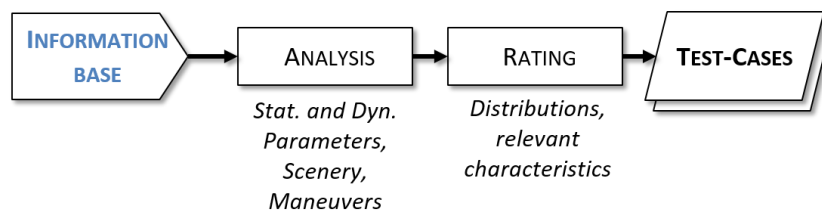


Abbildung 208: Abstraktion des Test-Case Identifikationsprozesses.

Liegen geeignete Informationsquellen vor, werden diese bezüglich der definierten Szenarien analysiert. Für die im Szenario relevante Szenerie werden die Bereiche statischer Rahmenbedingungen identifiziert, die in der Informationsbasis vertreten sind und somit für die geografische Abdeckung eine gewisse Repräsentativität aufweisen. Analog dazu findet im Prozess der Analyse für die Manöver der Objektfahrzeuge um das HAF-System herum, eine Ermittlung der dynamischen Parameterbereiche statt, sodass eine charakteristische Wiedergabe des auftretenden Objektverhaltens möglich ist.

Ausgehend von diesen Parameterbereichen sollte nun eine statistische Bewertung dieser Bereiche vorgenommen werden, um einen Testfall zu spezifizieren. Dabei handelt es sich nicht nur um beschreibende Parameter (charakteristische Parameter), sondern auch jene Parameter, die zur Beschreibung des Verlaufes eines Szenarios, insbesondere des Ablaufes der Manöver dienen. Hier sind Relativbezüge vor allem im Abstand zum HAF-Fahrzeug zu nennen.

Die statistische Bewertung zur Ermittlung der relevanten Spezifikationen korreliert stark mit der Fragestellung und dem Ziel der Erprobung. Da es sich im Rahmen von Ko-HAF um eine funktionale Erprobung zur Eignungsprüfung der Systeme handelt, werden – zumindest für die Realerprobung – Mittel- respektive Erwartungswerte als zentrales statistisches Maß herangezogen. So werden Testfälle identifiziert, welche in ihrer Definition relevant für die Fahraufgabe des HAF-Systems sind und in ihrer Ausprägung besonders häufig im Feld zu erwarten sind. In der Simulation werden diese Parameter in den Grenzen variiert, um so auch zu fordernderen Szenarioausprägungen zu gelangen, welche in der Realität aus Realisierbarkeits- oder

Sicherheitsgründen nicht mehr umsetzbar wären, aber in der Realität dennoch mit einer gewissen statistischen Häufigkeit auftreten können.

Da ein Test-Case nicht nur aus einer Momentaufnahme besteht, ist zu berücksichtigen, dass die Bestandteile einer Situation innerhalb des Szenarios einer entwickelnden Komponente unterliegen. Die Interaktionen werden über die Manöver in der jeweiligen Szenerie beschrieben. Die entwickelnde Komponente ist nicht zwangsläufig zeitlich zu sehen. Viel mehr sind es die Abhängigkeiten der Objekte / Manöver zum HAF-Fahrzeug (s.o.) Abbildung 209 zeigt diesen Zusammenhang abstrakt.

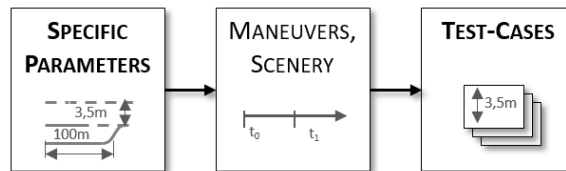


Abbildung 209: Manöver und Szenerie zur Umfeldbeschreibung mittels spezifischer Rahmenbedingungen eines Testfalls.

### 3.5.1.4 Testprozedur

Auf die Testprozedur wird hier nur kurz eingegangen, da sie den wesentlichen Inhalt der nachgelagerten Arbeitspakete darstellt. Als Eingangsgröße für die eigentliche Testprozedur wiederum dienen nun die einzelnen Test-Cases. Um die Test-Cases letztlich in der Testdurchführung erproben zu können, müssen zusätzliche Testspezifikationen definiert werden. Zu den Testspezifikationen zählen u.a. Testanfangs-, Testend- und Bewertungskriterien (siehe Abbildung 210). Hier werden Anforderungen an die Durchführung, insbesondere in der Realität gestellt. Dazu wurden verschiedene Konzepte und Tools entwickelt, um auch in der Realität komplexe Systeme zum Automatisierten Fahren testen zu können, aber vor allem auch das dafür notwendige Umfeld darzustellen.

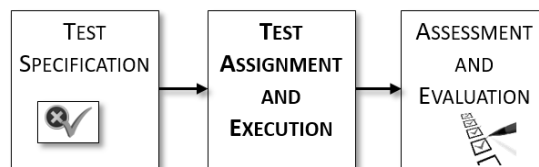


Abbildung 210: Testspezifikationen als Vorgaben für die Testdurchführung.

Da die Test-Cases zunächst losgelöst von der Testumgebung definiert werden, wird es erforderlich, die erstellten Fälle auf die Testumgebungen öffentlicher Straßenverkehr, Prüfgelände und Simulation zu verteilen. Dabei stehen Aspekte der Realisierbarkeit, Kritikalität und eine Zuordnung von Straßengeometrien (für die Erprobung im öffentlichen Straßenverkehr) im Fokus. Die abschließende Testaus- und -bewertung beinhaltet die Analyse der Bewertungskriterien. Zur partnerübergreifenden Aus- und Bewertung der Erprobung wurde ein gemeinsames Konzept erarbeitet. Dieses basiert auf szenariospezifischen Log-Files. Treten während der Erprobung durch Vorgabe oder durch zufälliges Auftreten im öffentlichen Straßenverkehr gewisse Situationen auf, so werden diese anhand von charakteristischen Kriterien aufgezeichnet und können abschließend partnerübergreifend ausgewertet werden. Die Auswertung hat nicht das Ziel, eine Leistungsbewertung der individuellen Systeme vorzunehmen.

Abbildung 211 zeigt das Schaubild der Testmethodik und das Zusammenwirken der zuvor aufgezeigten zentralen Schritte.

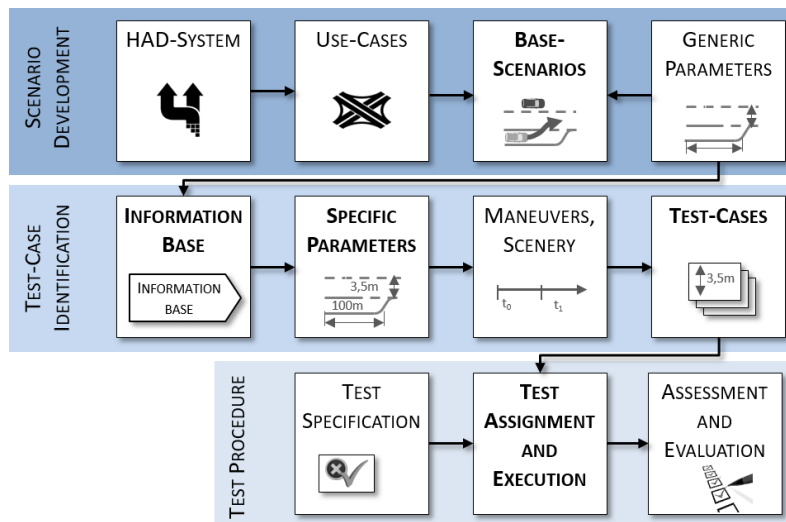


Abbildung 211: Schaubild der Testmethodik zur Erprobung des automatisierten Fahrens.

In der Darstellung in Baumstruktur (Abbildung 212) sind die verschiedenen Ebenen auf dem Weg von dem Funktionsumfang des HAF-Systems bis zum feingranularen Test-Case als Grundidee der Methodik zusammengefasst.

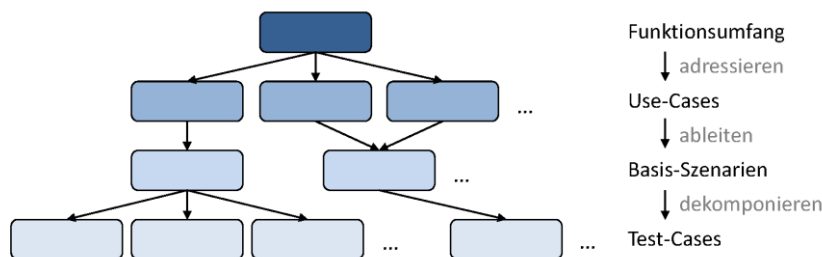


Abbildung 212: Abstammung der Test-Cases von den Basis-Szenarien und Use-Cases.

### 3.5.1.5 Fahrscenarien Katalog (Use-Cases)

Im Rahmen der Testmethodik wird der Katalog abzusichernder Szenarien als Grundlage für die Testfallgenerierung / Erprobung definiert. Der hohe Aufwand, das hochautomatisierte Fahren zu erproben, resultiert aus der extrem hohen Anzahl an zu adressierenden Szenarien. Bei steigendem Automatisierungsgrad können tendenziell immer mehr Rahmenbedingungen hinzukommen, die während der Absicherung berücksichtigt werden müssen, da sie einen maßgeblichen Einfluss auf das Verhalten des HAF-Systems besitzen können. Durch die Variation nur einer Rahmenbedingung kann das HAF-System anders beeinflusst werden und kann als Folge dessen grundlegend anders handeln. Die Ausgestaltung der Rahmenbedingungen kann schnell ein unüberschaubares Maß an Szenarien / Test-Cases annehmen. Der Szenarienkatalog besitzt daher einen modularen Aufbau und beschreibt die Szenarien zunächst generisch. Er beinhaltet die Beschreibung der Basis-Szenarien.

### 3.5.1.6 Szenarien

Während die Basis-Szenarien direkt aus den Use-Cases abgeleitet werden und eigenständige Szenarien darstellen, die weitestgehend voneinander unabhängig sind, werden weitere Überlagerungen von konkret adressierten Funktionseigenschaften auf diese Basis-Szenarien beschrieben. Sie werden zwar ebenso aus den in AP4 definierten Funktionsanforderungen respektive Use-Cases abgeleitet, sind allerdings als alleinstehendes, sich konkret auf die Fahraufgabe beziehendes Basis-Szenario ungeeignet. Für eine Repräsentation über zusätzliche Rahmenbedingungen sind sie hingegen zu essenziell, weshalb das Element der Funktionalitätsüberlagerung notwendig wird. Durch Überlagerung werden Szenarien geschaffen, in denen



weitere Funktionsaspekte erprobt werden können, die nicht als konkrete Fahrfunktionen definiert sind.

Aus den Use-Cases werden daher Basis-Szenarien und Funktionalitätsüberlagerungen abgeleitet. Basis-Szenarien sind:

- Autobahnauffahrt
- Autobahnabfahrt
- Autobahnkreuz
- Baustelle
- Gefahrenstelle
- Notbetrieb

Als Überlagerung wurde identifiziert:

- Einstellbares Fahrverhalten
- Systemaktivierung
- Übernahmeaufforderung

Die Bestandteile der abgeleiteten Szenarien werden innerhalb des Katalogs nun modular beschrieben. Zu den beschreibenden Bestandteilen innerhalb des Szenarienkatalogs gehören:

- Szenerie Elemente → Straßenabschnitte
- Dynamische Elemente → Objektfahrzeuge
- Statische Rahmenbedingungen → Straßengeometrien
- Dynamische Rahmenbedingungen → Objektverhalten

Aus diesen modularen Elementen inklusive der Rahmenbedingungen, welche die Elemente beschreiben, können die Test-Cases ermittelt werden und damit aufgabenorientiert den funktionalen Umfang des HAF-Systems abdecken. In dem Szenarienkatalog sind die Elemente je Basis-Szenario aufgelistet und die charakterisierenden Rahmenbedingungen festgehalten.

Zur strukturierten Beschreibung wird jedes Szenario dargestellt. Um eine Abgrenzung vorzunehmen, findet eine Beschreibung der Ausgangs- sowie der intendierten Endsituation der Szenarien statt.

#### 3.5.1.7 Szenerie Elemente, dynamische Elemente

Szenerie Elemente beschreiben das statische Umfeld innerhalb eines Szenarios. Sie beschreiben im Wesentlichen charakteristische Straßenabschnitte, auf welche allein durch die topologische Gegebenheit spezifische Anforderungen an das HAF-System gestellt werden. Für das Basis-Szenario Autobahnauffahrt sind die charakteristischen Szenerie Elemente die Auffahrrampe, der Beschleunigungsstreifen und der durchgängige Zielfahrstreifen. Die statischen Rahmenbedingungen beschreiben detailliert diese Elemente. Für jedes Basis-Szenario sind Elemente identifiziert worden. Durch Aufteilung in modulare Bausteine können die Test-Cases schneller variiert werden. Ebenso ist es möglich, die Szenerie Elemente so stark zu reduzieren, dass das Verhalten des HAF-Systems gezielt erprobt werden kann.

Die dynamischen Elemente beschreiben die veränderlichen Elemente innerhalb eines Szenarios. In Ko-HAF werden hier Einflüsse aufgrund anderer Objektfahrzeuge, welche das HAF-System beeinflussen und diesem eine Reaktion abverlangen, adressiert. Mittels der dynamischen Rahmenbedingungen werden ihre Eigenschaften definiert. Dabei wird das Objektverhalten auf dieser Ebene durch die Position im Umfeld zum Ego-Fahrzeug und das individuelle Verhalten klassifiziert. Das Verhalten wiederum wird durch Objektmanöver beschrieben (Spurwechsel, Beschleunigung, Konstantfahrt etc.).

### 3.5.1.8 Rahmenbedingungen

Die statischen und dynamischen Rahmenbedingungen beschreiben die Szenarien im Katalog zunächst generisch. Es findet eine Auflistung aller relevanten Rahmenbedingungen zugeordnet zu den zuvor identifizierten Elementen statt.

Statische Rahmenbedingungen sind Längen, Breiten, Spuranzahlen etc. der Szenerie Elemente. Hinzukommen allgemeine, elementübergreifende Rahmenbedingungen wie die Verkehrsregelungen etc.

Dynamische Rahmenbedingungen beschreiben die Eigenschaften der dynamischen Elemente. Dazu zählen insbesondere Attribute der Verkehrsteilnehmer, wie Fahrgeschwindigkeit, Positionen und Abstände (global und relativ zum HAF-Fahrzeug). Lücken im fließenden Verkehr sind charakteristische Größen, die bei der Auffahrt maßgeblich über den Erfolg des Einfädelvorganges entscheiden können. Solche charakterisierenden Eigenschaften werden durch zusammengesetzte Objektverhalten erstellt. Auch solche Objekt-Objekt Interaktionen können durch geeignete Datenbasen mit anschließender Auswertung beschrieben werden. Die Eigenschaften eines jeden Objektes werden daher definiert (long. Geschwindigkeit, lat. Geschwindigkeit, long. Beschleunigung, Spuruordnung, Typ) um diese später für die Durchführung nachbilden zu können. Für die Entwicklung des Szenarios (s.o.) werden Szenario-Trigger notwendig, die in Abhängigkeit zum Ego-Fahrzeug oder der statischen Umgebung das jeweilige Objektverhalten auslöst.

Diese Rahmenbedingungen stellen den Kern des Katalogs abzusichernder Szenarien dar und dienen als Eingangsgrößen für die Testfallidentifizierung. Dynamische Rahmenbedingungen besitzen einen besonders starken Einfluss auf die Fahrfunktion. Durch die Variation charakteristischer Bedingungen können so funktionale Systemgrenzen identifiziert werden.

## 3.5.2 Testprozedur

Im UAP 5.2 wurde, unter der Leitung von CSEI in Abstimmung mit den Projektpartnern, der Testkatalog mit den funktionsrelevanten Testfällen erstellt. In der erweiterten Testspezifikation konnte der Testkatalog über das Assignment-Verfahren noch mit der Testumgebung ergänzt und die Messgrößen festgelegt werden. Zur Durchführung von realen Testfahrten wurden neue Tools zur Fahrzeugkoordination und -referenzierung entwickelt. Im Detail ist dies in den folgenden Kapiteln beschrieben.

### 3.5.2.1 Testkatalog (Funktionen)

Im Zuge der weiteren Konkretisierung von Ko-HAF Testszenarien wurde von CSEI der bereits vorhandene Testkatalog mit Testfällen aus den Demonstrationsfahrten zur Abschlussveranstaltung erweitert. Die Fahrten auf dem Prüfgelände beinhalten gleich mehrere Testfälle in Folge, so dass bei einer Durchfahrt verschiedene Module der automatisierten Fahrfunktion gezeigt werden können.

In der folgenden Abbildung 213 ist die Erweiterung des Testkatalogs mit dem Testfall „Auffahren in eine Lücke“ beispielhaft zu erkennen.


TF-ID	Typ	Rahmenbedingung	Beschreibung	Wert	Einheit	Umgebung	Kommentar
TK_1.13	1.1	Testfall		Auffahrt ohne Vorausfahrenden in ausreichend große Lücke		Prüfgelände, TestAssist	
TK_1.13	1.1.1	Szenarie Element	Rampe				
TK_1.13	1.1.2	Szenarie Element	Beschleunigungsstreifen				
TK_1.13	1.1.3	Szenarie Element	Durchgehender Fahrstreifen				
TK_1.13	1.1.4	Szenarie Element	Verkehrsregelung				
TK_1.13	1.1.5	Dynamisches Element	Verkehr				
TK_1.13	1.1.5.1	Dyn. Rahmenbedingung	Verkehr	Anzahl Targets	2		
TK_1.13	1.1.5.2	Sequenz	Verkehr	Egofahrzeu	Initialwert	Startspur	
TK_1.13	1.1.5.2.1	Testschritt	Verkehr	Egofahrzeu	Initialwert	Rampe	
TK_1.13	1.1.5.2.2	Testschritt	Verkehr	Egofahrzeu	Initialwert	Startpunkt	Vor Beschleunigungsstreifenbeginn
TK_1.13	1.1.5.2.3	Testschritt	Verkehr	Initialwert	Funktion	ja	HAF-Funktion an/aus
TK_1.13	1.1.5.2.4	Testschritt	Verkehr	Egofahrzeu	Initialwert	Geschwindigkeit	60 km/h
TK_1.13	1.1.5.2.5	Testschritt	Verkehr	Egofahrzeu	Zielwert	Spurwechsel	190 m
TK_1.13	1.1.5.2.6	Testschritt	Verkehr	Egofahrzeu	Initialwert	Endpunkt	300 m
TK_1.13	1.1.5.3	Sequenz	Verkehr	Target 1	Initialwert		
TK_1.13	1.1.5.3.1	Testschritt	Verkehr	Target 1	Initialwert	Startspur	1
TK_1.13	1.1.5.3.2	Testschritt	Verkehr	Target 1	Initialwert	Beschleunigung	0 m/s <sup>2</sup>
TK_1.13	1.1.5.3.3	Testschritt	Verkehr	Target 1	Initialwert	Geschwindigkeit	90 km/h
TK_1.13	1.1.5.3.4	Testschritt	Verkehr	Target 1	Zustand	Startpunkt Spurwechsel Ego	240 m
TK_1.13	1.1.5.4	Sequenz	Verkehr	Target 2	Initialwert		
TK_1.13	1.1.5.4.1	Testschritt	Verkehr	Target 2	Initialwert	Startspur	1
TK_1.13	1.1.5.4.2	Testschritt	Verkehr	Target 2	Initialwert	Beschleunigung	0 m/s <sup>2</sup>
TK_1.13	1.1.5.4.3	Testschritt	Verkehr	Target 2	Initialwert	Geschwindigkeit	90 km/h
TK_1.13	1.1.5.4.4	Testschritt	Verkehr	Target 2	Zustand	Abstand	100 m

Abbildung 213: Testfallbeschreibung im Testkatalog.

Ausgehend von den bereits definierten Testfällen wurden hier spezielle Parameter für Geschwindigkeit und Abstand an die Bedürfnisse einer Demonstrator-Fahrt und mitfahrender Gäste eingetragen. Ziel war hier nicht eine bestimmte Abdeckung von realen Fahrten auf der Autobahn zu erreichen, sondern den Gästen das jeweilige Funktionsmodul während der Fahrt erklären zu können. Das bedeutet, insbesondere mit geringeren Geschwindigkeiten über das begrenzte Gelände zu fahren.

### 3.5.2.2 Testspezifikation (Funktionen)

Nach der genaueren Testfallbeschreibung musste eine sinnvolle Testumgebung für jeden einzelnen Testfall gefunden werden. Als Kriterien zur Auswahl sind hier beispielweise die Gefährdung von Verkehrsteilnehmern bzw. die Eigensicherheit, das Vorhandensein von bestimmten Infrastrukturelementen (z.B. Schilderbrücken, Rampenradien, Fahrstreifenlängen) oder auch die Möglichkeit zur exakten Reproduktion von Testfahrten zu nennen. Das Schaubild in der Abbildung 214 zeigt die möglichen Testumgebungen wie Simulation, Prüfgelände oder Testfeld (öffentliche Straße).

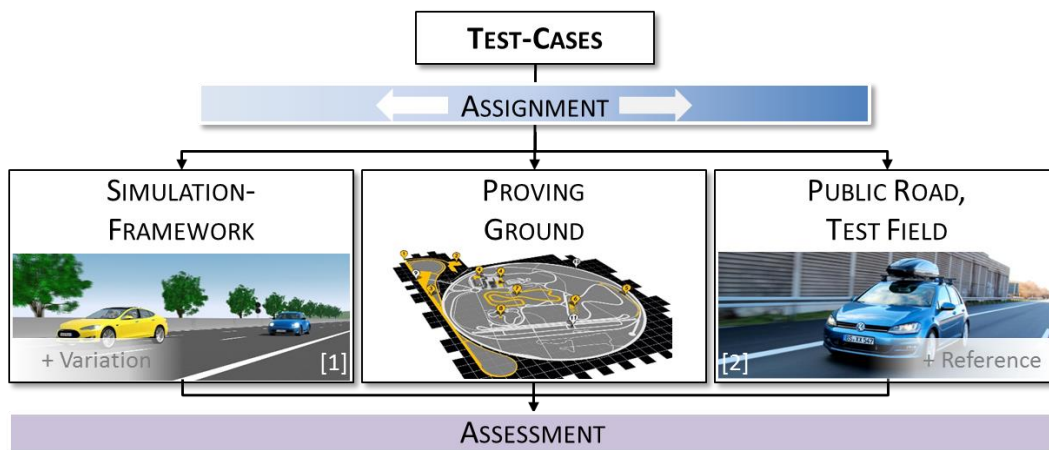


Abbildung 214: Assignment Testfälle vs. Testumgebung.

### 3.5.2.3 Testmittel (Testtools)

Das **Koordinationsstool** zur Unterstützung der Testdurchführung bei realen Testfahrten kam vor allem im letzten Projekthalbjahr, bedingt durch die häufigen gemeinsamen Test-Kampagnen, oft zum Einsatz. Dabei erwiesen sich die dafür erstellte Software „TestAssist“ als auch die Hardware-Komponenten als sehr zuverlässig.

Eine wesentliche Neuerung wurde im Bereich Testfahrer-HMI eingeführt, nämlich eine 3D-Darstellung mit animierter Fahrbahn (geschwindigkeitsabhängig). In dieser Darstellung können Fahrweisungen auch parallel angezeigt werden, nämlich z.B. ein Spurwechsel im linken oberen Bereich und eine Geschwindigkeitsänderung auf der rechten Seite.

Die folgende Abbildung 215 zeigt das Konzept der Bildschirmanzeige (Driver-HMI) mit der Darstellung von Position und Geschwindigkeit.

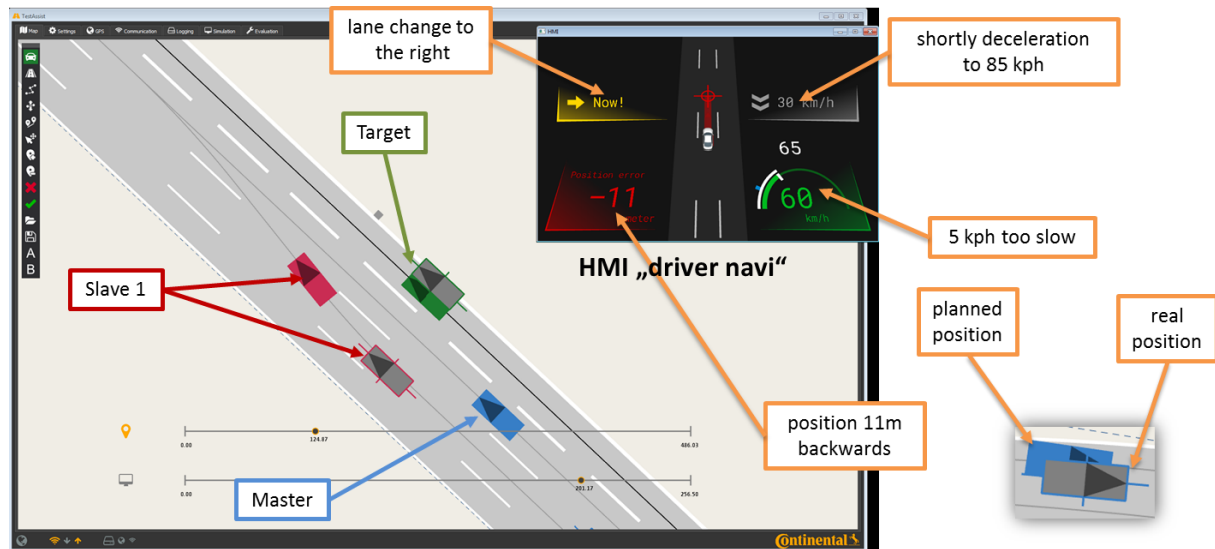


Abbildung 215: Anzeigekonzept Test-Assistent mit Kartenanzeige.

Die Soll-Position wird in Form eines farbigen Punktes mit Fadenkreuz auf einer 3-streifigen Fahrbahn dargestellt. Dieser wandert je nach aktueller Ist-Position vor oder hinter das Fahrzeugsymbol. Eine mögliche laterale Abweichung wird mit einem roten Balken auf der jeweiligen Seite des Fahrzeugsymbols signalisiert. Zusätzlich zeigt der untere Anzeigebereich links die Längsabweichung in Metern sowie rechts die aktuelle Soll- und Ist-Geschwindigkeit in Tachometer-Optik.

Den direkten Zusammenhang zwischen der berechneten und tatsächlich gemessenen Fahrzeugposition sowie der zugehörigen Anzeige zeigt die Abbildung 215. Das hier auf der Kartendarstellung eingeblendete „Driver HMI“ visualisiert u.a. die Abweichung des hinterherfahrenden Begleitfahrzeugs durch einen gelben Balken zwischen Fahrzeugsymbol (Istposition) und Fadenkreuz (Sollposition). Zusätzlich wird die Abweichung noch als Zahlenwert (+6 links unten) in Metern angegeben. Des Weiteren ist hier auch rechts unten die Sollgeschwindigkeit (100 Weiß) und Istgeschwindigkeit (95 Türkis) in km/h im „Tachometer“ zu sehen. In der darunterliegenden Kartendarstellung sind die korrespondierenden Fahrzeugsymbole des folgenden Begleitfahrzeugs (Blau) erkennbar. Hier ist auch deutlich die Abweichung zwischen Sollposition (vorderes Symbol mit Fadenkreuz) und Istposition erkennbar.

Sehr gut zu sehen ist in der Kartendarstellung der Abbildung 215 auch das Prinzip der Anpassung von geplanter Position und tatsächlicher Position an das Testfahrzeug (Fahrzeugsymbole in Grün). Hierbei wird die Soll-Längsposition aller drei Fahrzeuge (Rot, Grün, Blau) auf das Testfahrzeug (Grün) verschoben, so dass die geplanten relativen Abstände auch bei Geschwindigkeitsabweichungen des Testfahrzeugs erhalten bleiben. Somit wird die Steuerung der Begleitfahrzeuge aktiv an die tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit des Testfahrzeugs angepasst, um den geplanten Testfall in Bezug auf die dort definierten Abstände einzuhalten.

Abbildung 216 zeigt die „TestAssist“ Hardware-Komponenten und deren Einbauorte. Alle Komponenten sind mit wenig Aufwand und ohne große Anpassungen in verschiedene Fahrzeuge integrierbar, so dass beliebige Fahrzeuge bei den Tests eingesetzt werden können.

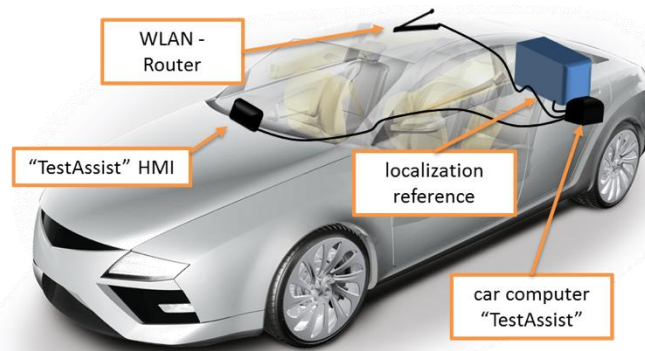


Abbildung 216: Konzept „TestAssist“ Hardware.

Zusammenfassend wurden mit dem Koordinationstool „TestAssist“ mehrere Funktionen zur Unterstützung von realen Fahrversuchen erfolgreich umgesetzt: Es beginnt mit der Planung von Fahrversuchen aus dem Testkatalog heraus auf Basis der hochgenauen Karte im OpenDrive-Format. Für jedes am Test beteiligte Fahrzeug kann eine Bahnplanung auf den entsprechenden Fahrstreifen mit Angabe von Geschwindigkeit und Beschleunigung erstellt werden. Zusätzlich können dann noch an beliebiger Stelle Spurwechsel eingefügt werden und der Testablauf wird als .json-File abgelegt. Zur Kontrolle der Planung ist der ganze Ablauf am Bildschirm simulierbar und z.B. die Abstände zu vorausfahrenden Fahrzeugen können dabei angezeigt werden.

Nach erfolgreicher Planung geht es dann aufs Prüfgelände (Opel Dudenhofen) oder auch in den öffentlichen Straßenverkehr (Ko-HAF Testgebiet). In jedem der beteiligten Testfahrzeuge werden dann online die entsprechenden Fahrhinweise über das HMI für den Testfahrer angezeigt. Gleichzeitig werden die Fahrtverläufe der einzelnen Fahrzeuge in einer Logging-File aufgezeichnet und können für eine spätere Auswertung u.a. mit der Replay-Funktion genutzt werden.

Der „TestAssist“ stellt somit ein Tool zur Absolut-Position-basierten Testdurchführung dar.

Ein weiteres Tool zur Durchführung von realen Fahrzeugtests, der sog. „Testmanager“, wurde vom Projektpartner IfF entwickelt. Im Unterschied zum „TestAssist“ basiert hier die Testfalldefinition auf relativen Positionsangaben wie z.B. dem Abstand zum Vorausfahrenden. In der Abbildung 217 wird das Konzept näher dargestellt.

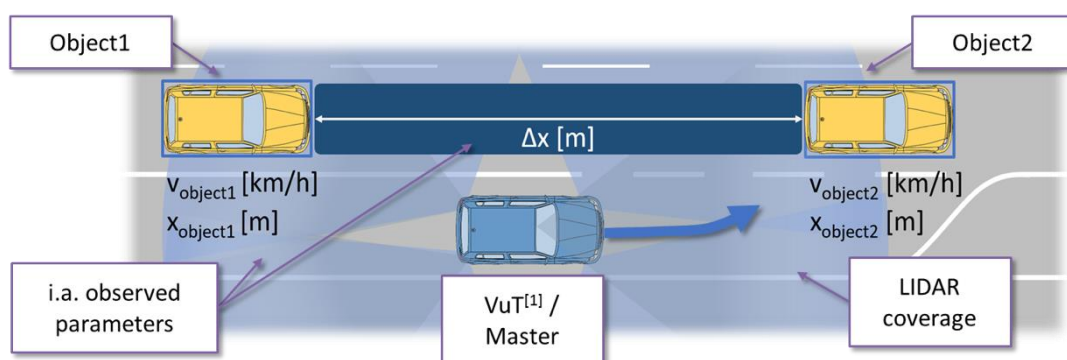


Abbildung 217: Concept „Testmanager“ IfF.

Mit dem Tool ist die Planung und Definition von komplexen Autobahn-Szenarien möglich, es werden Testanweisungen für eine hochpräzise Testausführung generiert. Die Testdaten können über einen Qualitätsindex ausgewertet werden.

Die Darstellung im Testfahrzeug erfolgt über Mobile-Devices oder einen Car-PC, in den Objekt-Fahrzeugen wird keine zusätzliche Hardware benötigt. Die Messung der Relativpositionen erfolgt mit LIDAR-Sensoren und wird per WLAN übertragen.

### 3.5.3 Virtuelle Erprobung

Die BMW AG hat im Rahmen von Ko-HAF die Leitung des UAP5.3 übernommen. Der inhaltliche Fokus in diesem AP lag auf der Sensorsimulation bzw. Sensormodellvalidierung, der Closed-Loop Erprobung der AP4-Funktionen in der Simulation und der Wirksamkeitsanalyse. Im Folgenden werden zunächst die Inhalte der Sensormodellvalidierung und Closed-Loop Simulation und anschließend die Resultate der Wirksamkeitsanalyse vorgestellt.

#### 3.5.3.1 Sensormodellvalidierung und Closed-Loop Simulation

Als Grundlage für die Durchführung der virtuellen Erprobung automatisierter Fahrfunktionen wurde ein Mockup aufgebaut (siehe Abbildung 218). Dieses wurde unter anderem zur Vorstellung der Ergebnisse in der Zwischen- und Abschlusspräsentation verwendet.



Abbildung 218: Mockup als Grundlage der virtuellen Erprobung.

Auf dieser Basis wurde eine Methodik für die Validierung virtueller Sensormodelle entwickelt (siehe Abbildung 219). Die Methodik basiert auf dem Vergleich realer und virtueller Messdaten. Dazu werden die Referenzdaten und Messungen des zu evaluierenden Sensors sowie der Ausgang der Abnahmefunktion (z.B. Fusion) aufgezeichnet. Mit Hilfe dieser Daten wird das reale Szenario basierend auf den Referenzdaten resimuliert und die synthetischen Sensor- und Abnahmefunktionsdaten generiert. Die erfassten Wertepaare der realen und synthetischen Sensordaten sowie die Ergebnisse der Abnahmefunktion basierend auf realen und synthetischen Sensordaten werden im Validierungsschritt bewertet. Daraus kann die Entscheidung getroffen werden, ob das zugrundeliegende Modell valide ist.

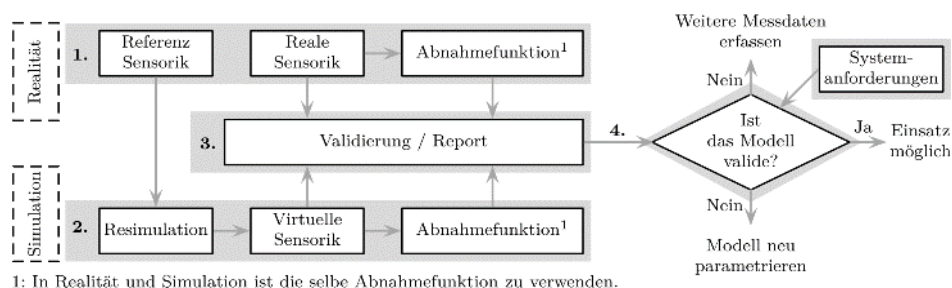


Abbildung 219: Visualisierung der Methode zur Validierung umfelderfassender Sensormodelle.

Zur Realisierung der beschriebenen Methode wurde die Toolkette aus Abbildung 220 aufgebaut. Diese beginnt mit der Erfassung realer Daten mittels eines Frameworks zur synchronen



Datenerfassung (hier Robot Operating System, kurz: ROS) in einem Versuchsfahrzeug. Die Daten werden in ein Evaluierungsframework importiert (hier Matlab) und die relevanten Modellierungsparameter der Sensormodelle in der ersten Iterationsschleife definiert. Bei Bedarf können die Erfassungs- und Importvorgänge unter Berücksichtigung der relevanten Parameter wiederholt werden. In der zweiten Iterationsschleife werden die Referenzdaten dem Simulator zur Verfügung gestellt und basierend darauf die simulierten Objektlisten- und Rohdaten von den Sensormodellen generiert. Die so erzeugten synthetischen Daten werden ebenfalls ins Evaluierungsframework importiert und dort mit den experimentellen Daten verglichen, um eine Aussage über die Validität des jeweiligen Sensormodells und dessen Parametrierung treffen zu können. Sollte die gewünschte Performance noch nicht erreicht sein, werden die genannten Iterationsschleifen erneut angestoßen.

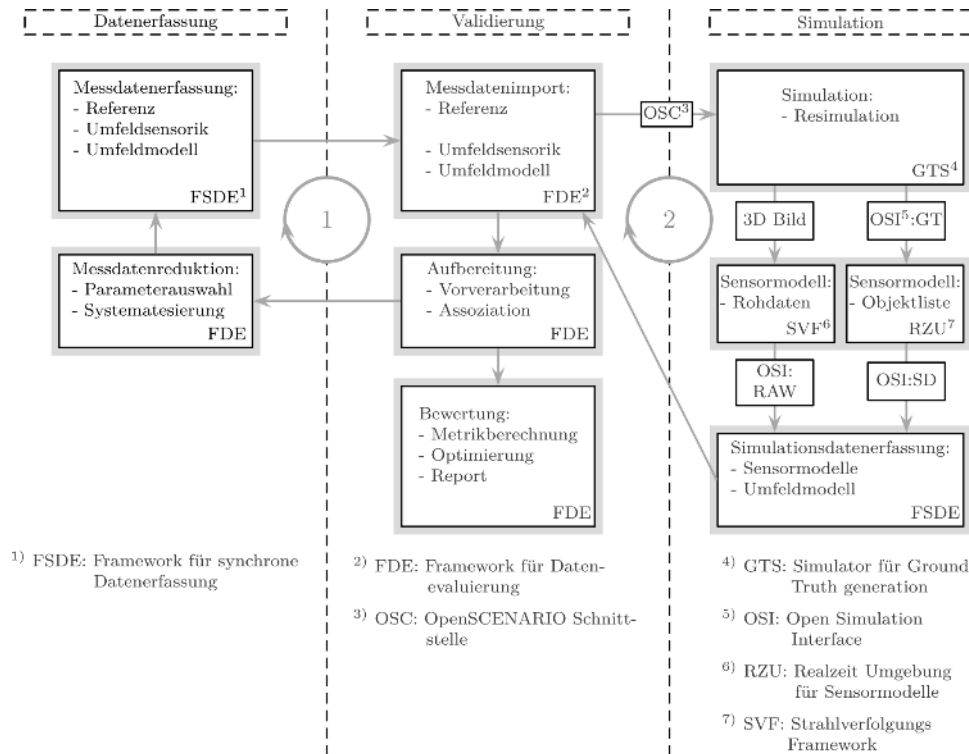


Abbildung 220: Schematische Darstellung notwendiger Komponenten zur Validierung umfelderfassender Sensormodelle.

Um partnerübergreifende Inhalte mit dem Architekturvorschlag testen zu können, wurden als Schnittstellen zwischen den unterschiedlichen Komponenten etablierte Standards verwendet. Als digitale Karte wurde die in AP2 entstandene XODR Karte in die Toolkette integriert, um virtuelle Fahrten auf dem im Rahmen von Ko-HAF definierten Testfeld zu ermöglichen. Um kurzfristige Tests durchführen zu können wurde zusätzlich ein Areal im Münchener Raum in XODR vermessen. Zur Szenariodefinition wurde das Format OpenSCENARIO, zum Transfer von Sensordaten das Open Simulation Interface (OSI) eingesetzt. Aufgrund der Tatsache, dass die Sensormodelle auf unterschiedlichen Ebenen (Objektlisten und Rohdaten) modelliert werden können, sind unterschiedliche Referenzdaten notwendig. Als Technologie für die Referenz von Objektlisten wurde in Ko-HAF das weitverbreitete Differential Global Positioning System (DGPS) eingesetzt. Als Referenz für die Rohdatenmodelle, die auf Raytracing Verfahren basieren, wurde ein hochgenaues 3D Modell im OSGB Format erstellt (siehe Abbildung 221).



Abbildung 221: Ausschnitt der hochgenau nachmodellierten Umgebung für die Validierung umfelderfassender Rohdatenmodelle und Vergleich einer realen und virtuellen Fahrt.

Wie bereits erwähnt, basiert die Evaluierung der Sensormodellierung auf zwei aufeinanderfolgenden Evaluierungsschleifen (siehe Abbildung 220). In der ersten Schleife soll die Frage beantwortet werden, wie die Anzahl der zu erfassenden Messdaten minimal gehalten werden kann, ohne dabei die Modellgüte maßgeblich negativ zu beeinflussen. Dieser Aspekt ist von hoher Bedeutung, denn die Datenerfassung zur Modellbedatung ist i.d.R. sehr zeit- und kostenaufwendig. Dazu wurde im Rahmen von Ko-HAF ein Ansatz zur Reduktion von Einflussparametern vorgeschlagen, denn mit jeder Dimension des Modellierungsraumes steigt die Anzahl der notwendigen Messdaten exponentiell an. Es wurde ein hybrider Feature Selection Ansatz vorgeschlagen, bei dem aus allen aufgezeichneten und für die Modellierung potenziell in Frage kommenden Eingangsparemetern wie z.B. Abstand, Geschwindigkeit oder Ausrichtung der zu erfassenden Objekte, die relevanten Eingangsparemetern ausgewählt werden. Bei diesem Ansatz werden mit sog. Filtern die Eingangsparemetern vorgefiltert und anschließend durch Tests mit einer prototypischen Version des Sensormodells selbst die Parameterauswahl weiter eingeschränkt. Bei einem Filter wird die Korrelation zwischen einer Gruppe von Eingangsparemetern und der Modellierungsgröße gemessen und so die Parameter ohne relevanten Einfluss auf die Modellierungsgröße herausgefiltert. Die Ergebnisse für die Modellierung der lateralen Positionsmessung eines Lidars sind beispielhaft in Tabelle 9 zusammengefasst.

	Ansatz	Parameter	MQF
	Pearson Korrelation (PK)	$x, v_y, v_x^{rel}, \gamma, \rho$	1,4841
Filter	Gemeinsame Information (GI)	$v_x, v_y, v_x^{rel}, \gamma, \rho$	1,53
	PK U GI	$x, v_x, v_y, v_x^{rel}, \gamma, \rho$	1,4196
	Modelltest (Gaußsche Regression)	$x, y, v_x, v_x^{rel}, \gamma, \theta, \rho$	1,22
	Kombination Filter & Modelltest	$v_x, v_x^{rel}, \gamma, \rho$	<b>0,881</b>

Tabelle 9: Ergebnisse der Parameterauswahl für die laterale Positionsbestimmung eines Lidars.

Als erstes werden bei den Filtern kombinatorisch unterschiedliche Parametersubsets untersucht und daraus das beste Set bezogen auf die damit erreichte Modellgüte bestimmt. Diese Subsets werden als Eingangsgrößen des prototypischen Sensormodells verwendet und die Modellgüte dabei mit Hilfe des mittleren quadratischen Fehlers (MQF) gemessen. Die Ergebnisse der Auswahl sind in der Spalte „Parameter“ zusammengefasst. Als Filter wurden die Pearson Korrelation (PK) und die gemeinsame Information (GI) sowie deren vereinte Menge untersucht. Zusätzlich wurde das prototypische Sensormodell (Gaußsches

Regressionsmodell) ohne Vorfilterung für die Parameterauswahl verwendet. Hierbei wird aufgrund der Tatsache, dass aufgrund der Rechenzeit nicht alle Parametersubsets getestet werden können, nicht das globale Optimum gefunden. Bei der Kombination aus Filter und Optimierung der Eingangsparameter durch Modelltests wird als erstes mit Hilfe von PK und GI das ursprüngliche Set von aufgezeichneten Parametern vorgefiltert und anschließend mit Tests mit dem prototypischen Sensormodell weiter verfeinert. Vorteilhaft dabei ist, dass das Parametersubset meist kleiner ausfällt als bei allen anderen Alternativen mit vergleichsweise kleinem MQF.

In der zweiten Evaluierungsschleife der Toolkette aus Abbildung 220 werden sowohl die Sichtbereiche verschiedener Sensoren als auch die Evaluierung einzelner Fahrtrajektorien vorgenommen. Wie zuvor bereits angemerkt, werden unterschiedliche Modellierungsebenen evaluiert (Objektlisten und Rohdaten). Im Folgenden werden beispielhaft nur die Ergebnisse für die Validierung eines Lidar Rohdatenmodells vorgestellt. Konzeptuell ähnelt die Validierung auf der Objektlistenebene des hier vorgestellten Vorgehens und wird detailliert in der Dissertation „Systematische Bedatung und Bewertung umfelderfassender Sensormodelle“ von A. Schaermann erläutert. Zum Zeitpunkt der Erfassung dieses Berichtes wird die Arbeit finalisiert und voraussichtlich im Jahr 2019 veröffentlicht.

Für die Bewertung von Sensormodellen werden reale und simulierte Fahrten verglichen. Eine Visualisierung einer exemplarischen Fahrt ist in Abbildung 222 zu sehen. Links oben sind eine Momentaufnahme aus einer realen Fahrt und darunter die Visualisierung der Messdaten des Lidar Sensors und einer daraus berechneten Belegungskarte abgebildet. Auf der rechten Seite ist die korrespondierende simulierte Fahrt auf Basis der hochgenau modellierten Umgebung und eines Raytracing Lidarmodells gezeigt.



Abbildung 222: Visualisierung einer realen und virtuell nachgestellten Fahrt mit entsprechenden Sensor- und Fusionsergebnissen.

Realität und Simulation werden miteinander anhand von Metriken verglichen. Eine Metrik ist dabei ein mathematischer Operator, der ein formales Maß für Diskrepanz zwischen Experiment- und Modellergebnissen angibt. Beispielhaft wird im Folgenden erklärt, wie ein Sensorfehler mit Hilfe einer Metrik erkannt werden kann. In der oberen Hälfte der Abbildung 223 wird eine solche Situation dargestellt. In der Mitte ist die reale Fahrt abgebildet, links Simulation ohne Sensorfehler und rechts mit Sensorfehler. In diesem Fall wurde eines der Fahrzeuge entfernt und kann damit vom Sensor nicht detektiert werden. In der unteren Hälfte ist zu sehen, wie dieser Fehler mit Hilfe der Metrik des „Overall Error“ (siehe „Evaluation of RoboCup Maps“ von B. Balaguer) detektiert und quantifiziert werden kann. Links unten ist der Vergleich zwischen Realität und Simulation ohne Sensorfehler und unten rechts mit Sensorfehler in Differenzbildern visualisiert. Anhand des Metrikergebnisses  $\bar{X}$  und der Differenzbilder ist zu erkennen, dass die Abweichung für den Fall ohne Sensorfehler deutlich kleiner ist als mit Fehler.

Auf Basis dieser Metriken können verschiedene Modellausprägungen gegeneinander verglichen bzw. einzelne Modelle gegen bestimmte Anforderungen validiert werden.

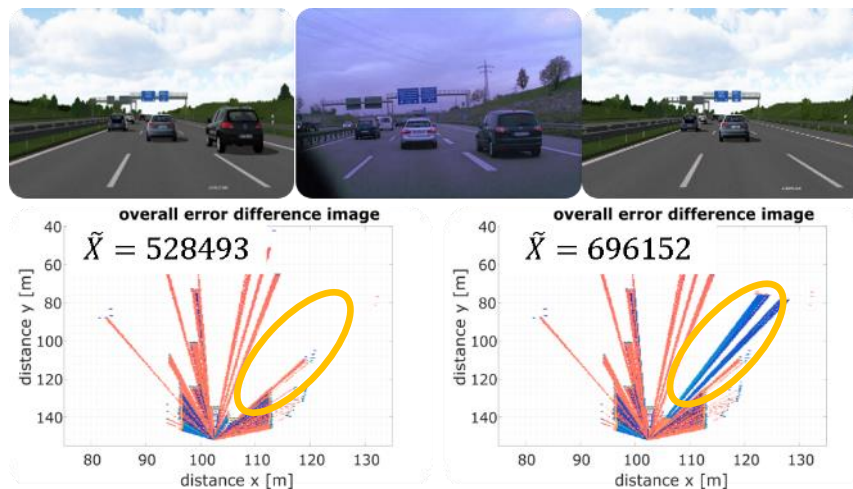


Abbildung 223: Ergebnisse der Validierung umfelderfassender Sensormodelle am Beispiel von Lidarpunktwolken.

Schließlich wurde die im Versuchsträger laufende Fahrfunktion aus AP4 inkl. des Umfeldmodells an die Simulation angebunden, um die Realerprobungen auf dem Testgelände in Dudenhofen und dem Testfeld um Frankfurt durch sog. Closed-Loop Simulationen vorzubereiten und abzusichern. Insbesondere die Reaktion auf Gefahrenstellen wurde in einer Vielzahl von Simulationsdurchläufen erprobt und optimiert, um die effiziente Variation von Szenarienparametern in der Simulation auszunutzen und das Risiko der realen Erprobung auf ein Minimum zu reduzieren. In Abbildung 224 sind beispielhafte Ausschnitte aus der realen und virtuellen Erprobung der Reaktion auf Gefahrenstellen dargestellt. Die Ergebnisse wurden zusammen mit dem Mock-up aus Abbildung 218 u.a. an der Ko-HAF Abschlusspräsentation in Dudenhofen vorgestellt.



Abbildung 224: Reale (links) und virtuelle Erprobung (rechts) eines beispielhaften Szenarios.

Neben den Arbeiten an den Sensormodellen sowie deren Validierung wurde im Laufe des Projektes eine Wirksamkeitsanalyse einer kooperativen automatisierten Fahrfunktion im Rahmen der Arbeit in UAP 5.3 durchgeführt. Ziel der Wirksamkeitsanalyse ist die Untersuchung der Auswirkung einer Technologie – in diesem Fall des kooperativen automatisierten Fahrens – auf die Verkehrssicherheit.

### 3.5.3.2 Resultate der Wirksamkeitsanalyse

Der in Ko-HAF gewählte Ansatz zur Wirksamkeitsanalyse einer kooperativen automatisierten Fahrfunktion nutzt das Verfahren der stochastischen Verkehrsszenarien. Hierbei werden Verkehrsszenarien simuliert, innerhalb derer bestimmte definierte Ereignisse auftreten. Diese Simulationen werden unter Variation der Anfangsbedingungen und der Parameter des Fahrerverhaltensmodells tausendfach durchgeführt. Die Simulationen werden sowohl ohne die zu untersuchende Funktion (im Folgenden als Baseline bezeichnet) als auch mit dieser (im



Folgenden als Treatment bezeichnet) durchgeführt. Innerhalb der Treatment-Simulationen ist ferner die Penetrationsrate der kooperativen hochautomatisierten Fahrfunktion (HAF) variiert worden.

Die Wirkung einer kooperativen automatisierten Fahrfunktion hinsichtlich der Verkehrssicherheit ist in fünf Verkehrsszenarien untersucht worden (siehe Abbildung 225). Die betrachteten Verkehrsszenarien sind dabei dem in UAP5.1 definierten Szenarienkatalog entnommen: Nothaltemanöver, Objekt im Fahrstreifen, Stauende, Auffahrt und Fahrstreifenende.

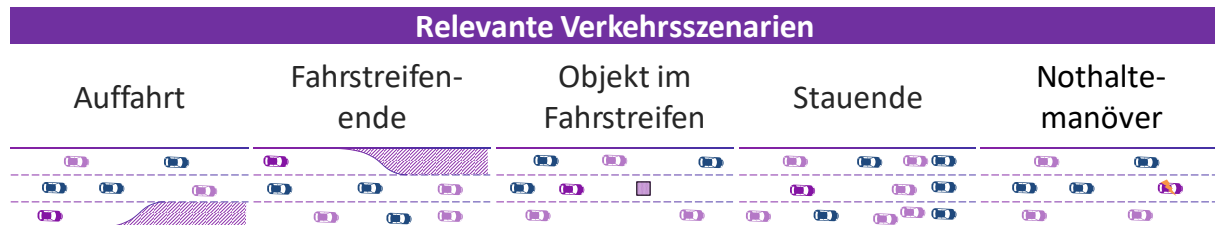


Abbildung 225: Im Rahmen der Wirksamkeit untersuchte Verkehrsszenarien.

Eine Übersicht über die variierten Parameter wird in Tabelle 10 gegeben.

Verkehrsszenario	Kategorie 1 „Parameter, die zwischen einzelnen Simulationssets variiert werden.“	Kategorie 2 „Parameter, die innerhalb eines Simulationsset variiert werden“
Art der Variation	Parameter werden vor der Simulation festgelegt	Parameter werden stochastisch variiert
1. Auffahrt und 2. Fahrstreifenende	Verkehrsstärke, Geschwindigkeitslimit und Penetrationsrate kooperatives HAF	Länge bis Ende Auffahrt / Fahrstreifen
3. Objekt im Fahrstreifen	Verkehrsstärke, Geschwindigkeitslimit und Penetrationsrate kooperatives HAF	Fahrerparameter, Startposition & -geschwindigkeit, Fahrzeugtyp, Position des Objektes
4. Stauende	Verkehrsstärke, Geschwindigkeitslimit und Penetrationsrate kooperatives HAF, Geschwindigkeit des Stauendes	Fahrerparameter, Startposition & -geschwindigkeit, Fahrzeugtyp
5. Nothaltemanöver	Verkehrsstärke, Geschwindigkeitslimit und Penetrationsrate kooperatives HAF, Art des Nothaltemanövers	Fahrerparameter, Startposition & -geschwindigkeit, Fahrzeugtyp

Tabelle 10: Übersicht innerhalb für die Wirksamkeitsanalyse durchgeführten Simulation variierten Parameter

Jedes der genannten Verkehrsszenarien ist in der Simulationsumgebung (openPASS) implementiert worden (siehe Abbildung 226 und Abbildung 227). Über die Projektlaufzeit hinweg ist die Implementierung der Szenarien verfeinert und optimiert worden, um sicher zu stellen, dass die Anforderungen der Wirksamkeitsanalyse und von Ko-HAF erfüllt werden.



Abbildung 226: Exemplarische Darstellung des Auffahrt- (links) und Fahrstreifenende-Szenarios (rechts) für die Simulation in der Wirksamkeitsanalyse.



Abbildung 227: Exemplarische Darstellung des „Auffahren auf Stauende“- (links) und des „Objekt im Fahrstreifen“-Szenarios (rechts) für die Simulation in der Wirksamkeitsanalyse.

Weiterhin ist eine kooperative automatisierte Fahrfunktion für die Wirksamkeitsanalyse in der Simulation implementiert worden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Funktion entsprechend dem Zweck der Wirksamkeitsanalyse eine vereinfachte Version einer realen kooperativen automatisierten Fahrfunktion ist. Die Vereinfachungen betreffen vor allem die Darstellung der Sensorik. Das für die Wirksamkeitsanalyse maßgebende Verhalten der Funktion im Verkehr entspricht dagegen dem einer realen automatisierten Fahrfunktion. Die Vereinfachungen werden nötig, da in der angestrebten Wirksamkeitsanalyse eine Vielzahl von Situationen (mehrere Tausend Simulationen) durchgeführt werden soll. Dies verlangt wiederum nach einer beschleunigten Simulation, die deutlich schneller als Echtzeit läuft.

Neben der Fahrfunktionen ist das verwendete Fahrerhaltensmodell im Projekt weiterentwickelt worden. Die Weiterentwicklungen zielen in erster Linie auf die Durchführbarkeit der Simulation in den einzelnen Verkehrsszenarien ab und betreffen zum einen die Parametrierung des Fahrerhaltensmodells und zum anderen das Thema Übernahme durch den Fahrer nach der automatisierten Fahrt. Hierbei wird dem Fahrer des Fahrzeuges, für das das Übernahmemanöver simuliert wird, eine Reaktionszeit auf Grundlage einer statistischen Verteilung zugewiesen. Die Verteilung der Reaktionszeit ist auf Basis von Studien bestimmt worden und wird durch eine Gammafunktion ( $p = 1,5$ ,  $b = 2$ ) beschrieben. Erst nach Ablauf der Reaktionszeit übernimmt der virtuelle Fahrer wieder die Kontrolle über das Fahrzeug. In der Zwischenzeit wird das Fahrzeug in der Fahrspur abgebremst. Es sind dabei bewusst keine Fahrstreifenwechsel betrachtet worden, um die kritischere Form eines Nothaltemanövers zu untersuchen.

Insgesamt sind nahezu 44.000 Simulationsdurchläufe simuliert und ausgewertet worden. Die in diesen Simulationsdurchläufen von allen Fahrzeugen zurückgelegte Strecke beträgt ca. 4,03 Millionen km.

Nachfolgend werden die Ergebnisse je Verkehrsszenario kurz zusammengefasst.



### 3.5.3.2.1 Auffahrt

Insgesamt sind für dieses Verkehrsszenario 5.400 Simulationsruns durchgeführt worden. Die Ergebnisse (siehe Abbildung 228) zeigen, dass die Anzahl der erfolgreichen Fahrstreifenwechsel zum Auffahren auf die Autobahn mit zunehmender Penetrationsrate steigt. Gegenüber dem Szenario mit 30% Ausstattungsrate der PKW steigert sich die Anzahl erfolgreicher Fahrstreifenwechsel im Szenario mit 100% um 2,3%. Die Kollisionsrate dagegen fällt mit zunehmender Penetrationsrate. Im Szenario mit 30% Ausstattungsrate reduziert sich die Kollisionshäufigkeit um 22,5% gegenüber der Baseline. Im Szenario mit 100% Ausstattungsrate beträgt die relative Änderung 62,4%.

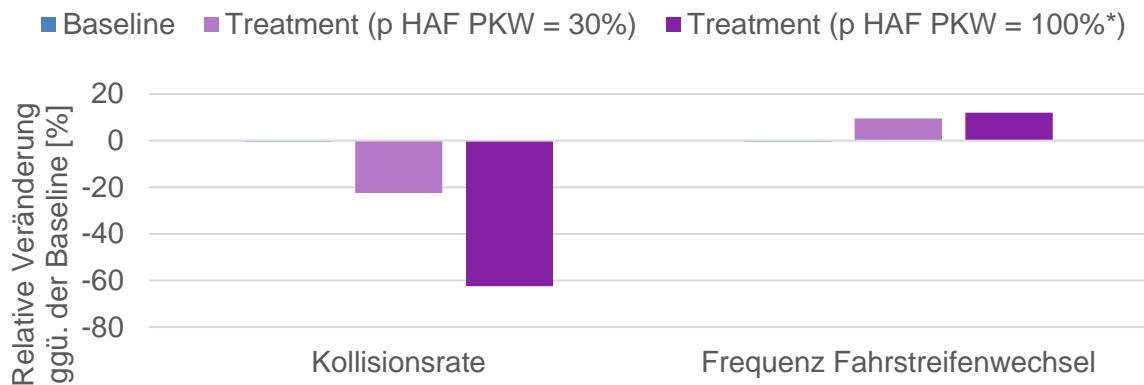


Abbildung 228: Ergebnisse des Verkehrsszenarios „Auffahrt“.

### 3.5.3.2.2 Fahrstreifenende

Für das Verkehrsszenario „Fahrstreifenende“ sind insgesamt 9.000 Simulationsdurchläufe simuliert worden. Die Ergebnisse der Simulationen mit verschiedenen Penetrationsraten sind in Abbildung 229 dargestellt. Hinsichtlich der Verkehrssicherheit zeigen die Simulationen für dieses simulierte kooperative HAF keine klare Tendenz über der Penetrationsrate. Gleiches gilt auch für die Frequenz der Fahrstreifenwechsel. Dagegen lässt sich bei der Durchschnittsgeschwindigkeit ein Anstieg über der Penetrationsrate feststellen. Gegenüber der Baseline steigert sich die Durchschnittsgeschwindigkeit um 6%.

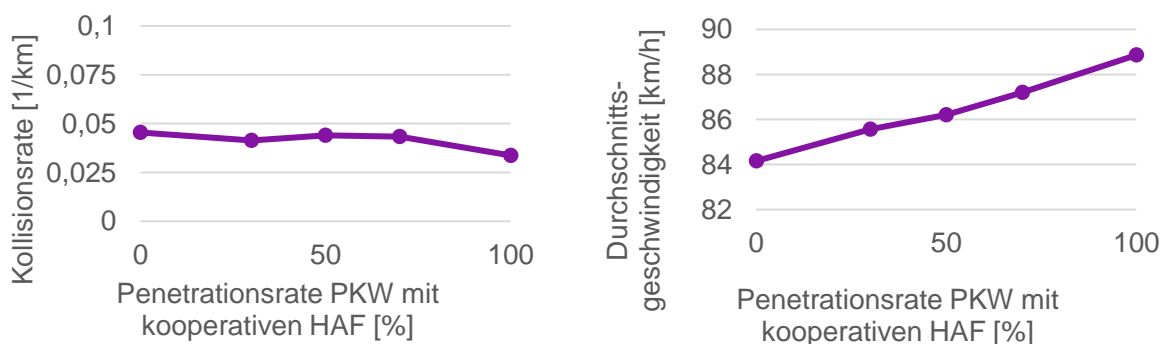


Abbildung 229: Ergebnisse des Verkehrsszenarios „Fahrstreifenende“.

### 3.5.3.2.3 Objekt im Fahrstreifen

Für das Verkehrsszenarien „Objekt im Fahrstreifen“ sind 8.452 Simulationsdurchläufe mit einer gesamten Fahrstrecke von 889.000 FZG km simuliert worden. Hinsichtlich der Verkehrssicherheit kann eine Reduktion der Kollisionsrate bei einer steigenden Penetrationsrate der untersuchten Funktion festgestellt werden (siehe Abbildung 230). So wird beim Szenario mit 100% Penetrationsrate die Kollisionshäufigkeit um 64,4% gegenüber der Baseline reduziert.

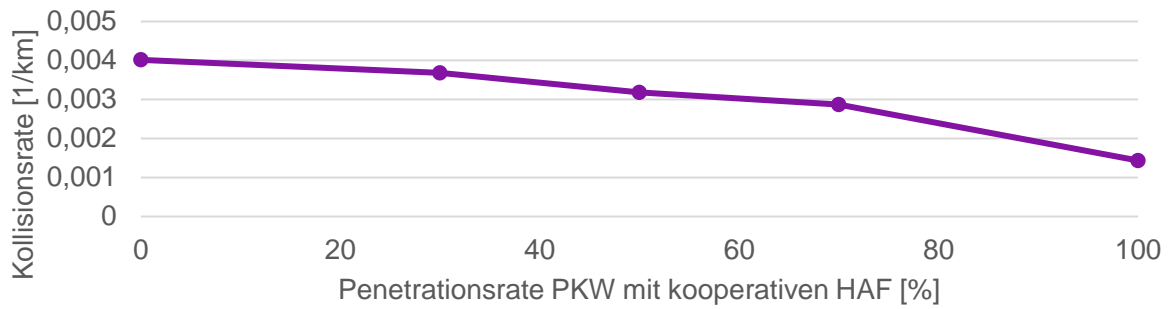


Abbildung 230: Ergebnisse des Verkehrsszenarios „Objekt im Fahrstreifen“.

### Stauende

Im Szenario „Stauende“ sind 1,4 Millionen Fahrzeugkilometer in 14.407 Simulationsdurchläufen simuliert worden. Mit steigender Penetrationsrate sinkt analog zum vorherigen Szenario die Kollisionsrate (siehe Abbildung 231). Allerdings stellt sich eine erkennbare Reduktion der Kollisionsrate erst mit einer Penetrationsrate von 50% ein. Beim Szenario mit einer 100% Ausstattungsrates beträgt die Reduktion der Kollisionsrate gegenüber der Baseline 73,5%.

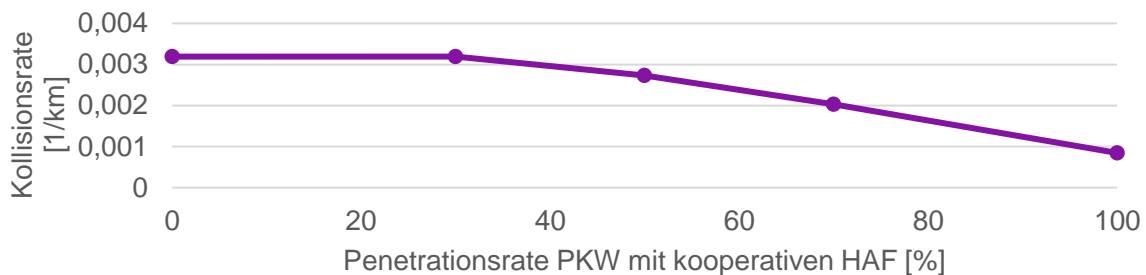


Abbildung 231: Ergebnisse des Verkehrsszenarios „Stauende“.

#### 3.5.3.2.4 Nothaltemanöver

Bei Verkehrsszenario „Nothaltemanöver“ sind insgesamt 6.502 Simulationsdurchläufe simuliert und analysiert worden. In den 6.502 Simulationsdurchläufen ist insgesamt eine Fahrstrecke von 1.005.957 FZG km zurückgelegt worden. Weiterhin sind für dieses Fahrscenario zwei verschiedene Arten von Nothaltemanövern simuliert worden (moderate und starke Verzögerung). Die beiden Nothaltemanöver unterscheiden sich in der Verzögerung mit dem das Fahrzeug bei nicht erfolgreicher Übernahme der Fahraufgabe durch den Fahrer konstant verzögert wird.

Für beide Nothaltemanöver kann eine Reduktion der Kollisionsrate bei steigender Penetrationsrate festgestellt werden (siehe Abbildung 232). Das Nothaltemanöver mit der niedrigen Verzögerung stellt in Bezug auf die Verkehrssicherheit die bessere Option dar, da die Kollisionsrate nie höher als die Kollisionsrate im Baseline-Szenario liegt. Beim Nothaltemanöver mit der stärkeren Verzögerung wird die Referenz des Baseline-Szenarios erst bei Penetrationsraten von größer gleich 75% unterschritten. Allerdings muss hierbei berücksichtigt werden, dass eine geringe Verzögerung mit einem zeitlich längeren Manöver einhergeht. Dies resultiert unweigerlich in höheren technischen Anforderungen an das System.

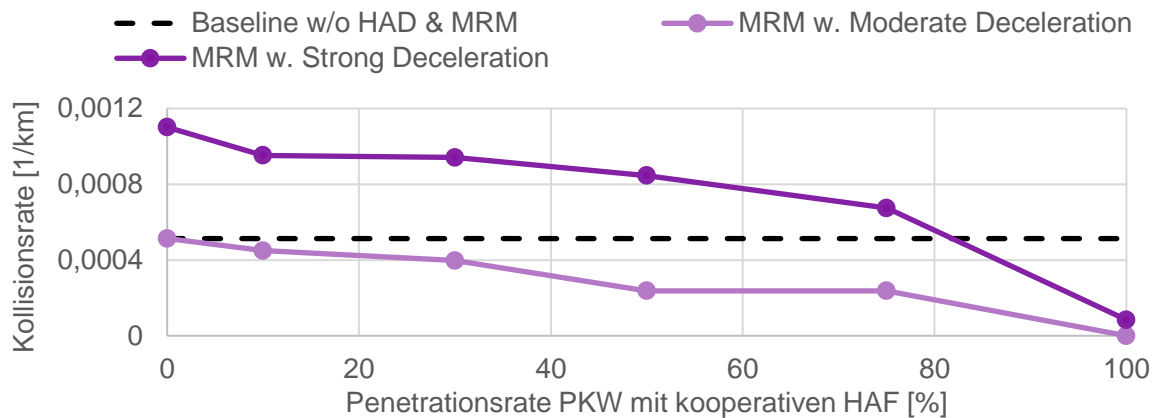


Abbildung 232: Ergebnisse des Verkehrsszenarios „Nothaltemanöver“.

Die untersuchte kooperative automatisierte Fahrfunktion zeigt in nahezu allen Verkehrsszenarien ein deutliches Potential zur Steigerung der Verkehrssicherheit. Für die meisten Verkehrsszenarien steigt der potenzielle Sicherheitsgewinn mit der Penetration. Somit stellen sich größere Potentiale erst bei hohen Penetrationsraten ein. Bei niedrigen Penetrationsraten werden dagegen keine oder nur geringe Steigerung der Verkehrssicherheit erreicht.

Es gelten für die durchgeführten Analysen und Simulationen die folgenden Anmerkungen und Einschränkungen:

- Die analysierten Verkehrsszenarien repräsentieren Szenarien mit kritischen Fahrmanövern, die mit einem höheren Kollisionsrisiko einhergehen als beim normalen Fahren.
- Höhere Penetrationsraten einer kooperativen automatisierten Fahrfunktion werden nicht kurzfristig erreicht. Ferner können die Simulationen mit einer Penetrationsrate von 100% als rein theoretischer Fall betrachtet werden, da ein Erreichen dieser Quote unter Berücksichtigung der Tatsache, dass es immer auch ältere Fahrzeuge geben wird, unrealistisch erscheint.
- Die untersuchte Funktion stellt, wie bereits beschrieben, eine vereinfachte Version einer realen kooperativen automatisierten Fahrfunktion dar. Daher sind sensorbezogene Probleme (z.B. False-Positive-Detektionen oder Verzögerungen in der Kommunikation) nicht berücksichtigt worden.
- Die simulierte kooperative automatisierte Fahrfunktion kann hinsichtlich der Verkehrssicherheit optimiert werden.
- Das genutzte Fahrerverhaltensmodell des nicht automatisierten Verkehrs ist kritischer als reale Fahrer parametrisiert worden, um bereits mit einer geringeren Anzahl von Simulationen durchläufen eine statistisch ausreichende Anzahl von Unfällen zu detektieren.
- Unfälle aufgrund funktionaler Unzulänglichkeiten sind in der Analyse nicht berücksichtigt worden.

### 3.5.4 Erprobung auf dem Testgelände

Im UAP5.4, das von Teves geleitet wurde, wird die Erprobung von hochautomatisierten Fahrzeugen auf einem noch zu definierenden Testgelände vorbereitet und später die Durchführung von gemeinsamen Testkampagnen organisiert. In den folgenden Kapiteln ist die Vorgehensweise dazu detailliert beschrieben.

#### 3.5.4.1 Ziele dieses Unterarbeitspaketes

Wie in der Vorhabenbeschreibung erläutert, musste im Rahmen dieses UAP ein passendes Testgelände für die Erprobung ausgewählter HAF-Funktionen spezifiziert und ausgewählt werden. Gegebenenfalls würden geringfügige Anpassungen am Testgelände durchgeführt (z.B. Aufbringung von Fahrbahnmarkierungen), um für die Funktionsüberprüfung passende Randbedingungen bereitzustellen.

Auf Basis der Testspezifikationen aus dem UAP5.2 und den in diesem UAP ebenfalls entwickelten Test- und Hilfsvorrichtungen sollen ausgewählte kritische HAF-Fahrszenarien erprobt werden. Für die Durchführung der Tests mit mehreren Verkehrspartnern müssen geeignete Testchoreografien entwickelt werden, die eine zuverlässige Durchführung dieser komplexen Fahrmanöver ermöglichen.

Für die Durchführung von Fahrmanövern müssen die Testvorrichtungen auf dem Testgelände aufgebaut und in Betrieb genommen werden. Die Versuchsfahrzeuge werden für die Durchführung der Fahrversuche mit Referenzsensorik und zur Durchführung hochpräziser Fahrmanöver gegebenenfalls auch mit Fahrrobotern ausgestattet. Die Fahrtests werden gemäß der Spezifikation aus UAP5.2 durchgeführt und anhand eines zugehörigen Bewertungskatalogs bewertet.

#### 3.5.4.2 Vorbereitung / Inbetriebnahme Testgelände

In dem ersten Halbjahr des Projektes war noch kein Testgelände ausgewählt, daher hatten die Partner dieses Unterarbeitspakets mit den Partnern aus AP4 abgestimmt, welche Bedürfnisse an ein Testgelände bestehen und welche wesentlichen Voraussetzungen es erfüllen müsste.

Zwei wichtige Anforderungen wurden dadurch identifiziert und zwar, dass das Testgelände aus einer langen Gerade bestehen muss, die mindestens zwei Fahrstreifen und einen Seitenstreifen enthält. Zudem muss die gerade Strecke lang genug sein, damit die Versuchsträger eine autobahn-ähnliche Geschwindigkeit erreichen können und im Anschluss noch genügend Strecke zum Testen von ein bis zu zwei AP4 Fahrfunktion vorhanden ist. Zweite wesentliche Voraussetzung war es, das Testgelände durch AP1.3 kartieren zu lassen, damit das komplettes Ko-HAF System auch auf dem Testgelände vollständig getestet werden kann.

Weitere Betrachtungen in 2016 ergaben mehr Details über das gewünschte Testgelände, die hier unten kurz aufgelistet sind:

- Autobahn- oder Autobahnähnliche Fahrstreifen-Markierungen sind vorhanden oder können nach Zustimmung der Betreiber aufgebracht werden
- Strecken- bzw. Linienführung ist Autobahnähnlich, z. B. hinsichtlich Krümmungen, Neigungen, und ist in ausreichender Länge vorhanden
- Testen der Funktion „Gefahrenstellen“:
  - Ausreichende Auslauflächen zur Seite
  - Mindestens zwei durchgehende Fahrstreifen und ein Seitenstreifen
- Strecke auf Prüfgelände muss im Safety Server hinterlegt sein
- Idealerweise wird die gleiche Strecke in die Abschlussdemonstration einbezogen, um Ressourcen zu sparen (d.h. Nähe zu Rhein-Main-Gebiet)

Um prinzipiell vorhandene Prüfgelände zu erfassen, wurde mit Hilfe der Projektpartner eine Übersichtsliste erstellt, in die bekannte Einrichtungen eingetragen wurden. Im Zuge der Diskussionen in AP4 und AP5 gelangten drei Prüfgelände in die engere Auswahl:

- August-Euler Flugplatz, Griesheim
- Triwo Testcenter, Pferdsfeld
- Opel Testcenter, Dudenhofen

Die Betreiber der drei genannten Prüfgelände wurden hinsichtlich einer möglichen Nutzung im Rahmen von Ko-HAF angefragt. U.a. da eine erste Anfrage zur Nutzung des August-Euler Flugplatzes negativ ausfiel und das Testcenter in Pferdsfeld durch die größere Entfernung zum Rhein-Main Gebiet als eher nachteilig zu bewerten ist, wurde das Testcenter in Dudenhofen in Erwägung gezogen. Im Steuerkreistreffen am 22.04.2016 wurde die mögliche Nutzung des Opel Test Centers von Dr. Stefan Berger (Leiter AP4) vorgestellt. Vorteile dieses Prüfgeländes waren:

- Räumliche Nähe zum Ko-HAF Testgelände im Rhein-Main Gebiet

- Im Bereich der „langen Geraden“ können autobahnähnliche Verhältnisse dargestellt werden, vgl. Abbildung 233:
  - Gerade mit ca. 1.500m Länge
  - 4-streifiger Ausbau mit entsprechenden Fahrstreifenmarkierungen
- Ggf. zusätzlich notwendige Markierungen können temporär aufgebracht werden
- Eine Kartierung der Strecke durch die Fa. 3D Mapping ist möglich
- Das Gelände verfügt über geeignete Räumlichkeiten für das Ausrichten einer Abschlussveranstaltung
- Die Nutzung der Strecke ist für Ko-HAF Projektpartner im Rahmen definierter Termine kostenfrei

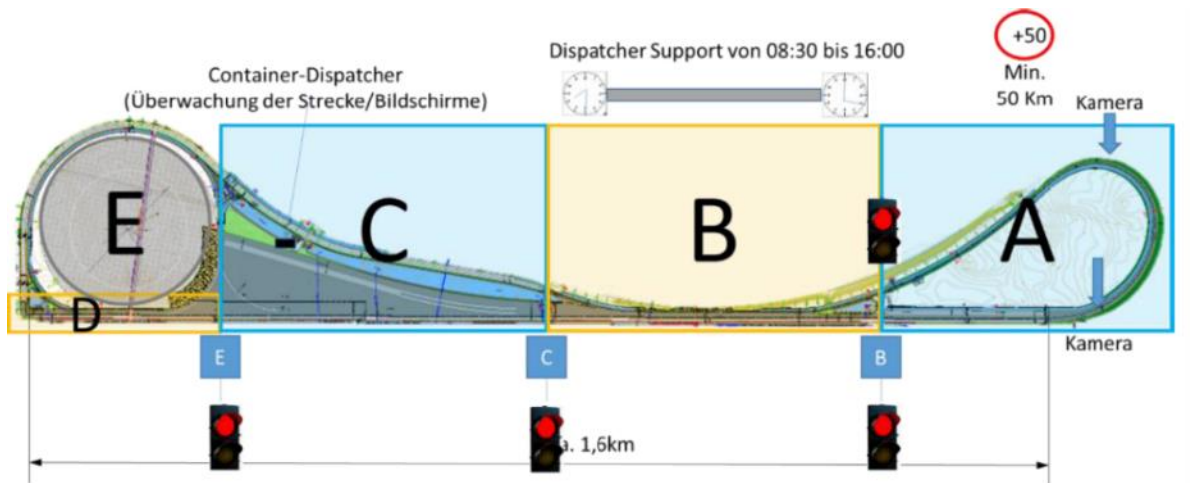


Abbildung 233: Beschreibung des Testgeländes Dudenhofen.

Auf Basis der Eindrücke während der Begehung der Teststrecke am 15.05.2016 sowie der von Opel zur Verfügung gestellten Grundrisse und Pläne, wurde in der zweiten Jahreshälfte insbesondere die zusätzliche notwendige Infrastruktur definiert, die sich aus den geplanten Tests der Ko-HAF Funktionen ergab. Insbesondere wurde innerhalb von AP4 und AP5 diskutiert, welche Fahrstreifenmarkierungen aufzubringen sind, um eine möglichst Autobahn-ähnliche Testumgebung zu schaffen.

Schließlich wurde am AP5 Quartalstreffen am 06.12.2016 ein gemeinsamer Beschluss getroffen, der folgende Streckenelemente beinhaltet:

- Gerader Fahrstreifen (Länge: 160m) als Beschleunigungsstrecke beginnend am östlichen Ende der Langen Geraden (Bereich A in Abbildung 233).
- Anschließend in Fahrtrichtung (Uhrzeigersinn) wird ein Einfädelfeld mit 250m Länge aufgebracht (Bereich A). Diese Länge entspricht den Empfehlungen in der deutschen Richtlinie zur Anlage von Autobahnen (RAA).
- Im Bereich B und C befindet sich eine Gerade mit 950m Länge mit drei durchgehenden Fahrstreifen. Rechtseitig neben dem Standstreifen werden Leitpfosten im Abstand von 50 m aufgestellt.
- Im Bereich D wird ein Ausfädelfeld aufgebracht, ebenfalls mit einer Richtlinien-konformen Länge von 250m

Die beschriebenen Streckenelemente wurden in einen Plan maßstabsgetreu eingezeichnet und Opel zugänglich gemacht. Eine Gefährdungsbeurteilung ist seitens der Teststreckenbetreiber bereits erfolgt. Als Konsequenz wurde am Ende der Strecke (Bereich D) eine Begrenzung der Höchstgeschwindigkeit von 60 und 40km/h vorgeschrieben und in Form von Verkehrszeichen kenntlich gemacht.

In Absprache mit Opel und 3D Mapping wurden im Frühjahr 2017 die entsprechenden Modifikationen aufgebracht und die Strecke im Anschluss als Datengrundlage für den Safety Server kartographiert.

Ab Mai 2017 sind regelmäßige Testtermine bis der Abschlusspräsentation inklusive organisiert worden. Schon ab diesem Zeitpunkt war das Testgelände vollständig bereit die Ko-HAF Gemeinschaftstests zu beherbergen. Der Partner Opel war zudem zu jeder Zeit sehr kooperativ und aktiv, um Ko-HAF Partnern Bedürfnisse zu erfüllen, wie z.B. Spurmarkierungen zu pflegen oder temporäre Objekte auf der Strecke zu platzieren. Darüber hinaus konnten die Ko-HAF Partner während der Testsessions von besonderen, einfachen Einfahrtbedingungen profitieren, weil die Lange Gerade jedes Mal exklusiv für Ko-HAF freigegeben war.

#### 3.5.4.3 Durchführung sicherheitskritischer Tests für Ko-HAF Funktionen

Sobald die Fahrfunktionen soweit entwickelt waren, um sicherheitskritische Tests abfahren zu können, haben die Ko-HAF Partner diese ab Mitte 2017 bis Ende des Projektes durchgeführt.

Es gab im Rahmen dieser Periode Versuche, verschiedene auf den Fahrstreifen platzierte Objekte zu erkennen. Der Partner Audi hat sich darauf konzentriert eine auf einer Spur gelegte Dachbox mittels fahrzeugeigener Sensorik zu erkennen, um sie an den Safety Server zu übermitteln. Der Partner BMW sollte dann kurz nach dem Audi Versuchsträger die gleiche Strecke befahren und dank der heruntergeladenen Information aus dem Safety Server ein Ausweichmanöver an der Position der Dachbox durchführen. Dieses Szenario wurde während der Abschlusspräsentation durch beide Partner demonstriert. Der Partner Opel konzentrierte sich im Rahmen vom UAP42.1 auf die Erkennung von Baustellenschildern. Die dafür notwendigen Tests konnten, vor allem aus Sicherheitsgründen, nur auf einem gesperrten Testgelände durchgeführt werden. Der Partner Teves hat die Erkennung eines Liegenbleibers auf dem Seitenstreifen untersucht und führte im Anschluss Versuche zu UAP4.3 „Umgang mit Gefahrenstellen“ für entsprechende Ausweichmanöver durch. Auch ein solches Szenario musste auf einem gesperrten Testgelände durchgeführt werden, weil die Versuchsträger dabei größere Quermanöver initiieren konnten.

Darüber hinaus haben die beiden Partner IfF und CSEI zwei in UAP5.2 definierte Synchronisationstools entwickelt, die sich durch ihre Konzepte und eingeführten Technologien unterscheiden. Für UAP 5.4 sind sie aber ähnlich, in beiden Konzepten handelt es sich um ein oder mehreren Hasen-Fahrzeuge, die mit dem automatisierten Versuchsträger synchronisiert werden. Damit können Testszenarien präzise durchgeführt und wiederholt werden. Viele solcher in UAP5.2 definierte Szenarien wurden in den Ko-HAF Testsessions auf dem Opel Testgelände in Dudenhofen untersucht und einige davon wurden im Rahmen der Abschlusspräsentation vorgestellt.

Die Untersuchung des „Minimal Risiko Manövers“ zählt auch zu den sicherheitskritischen Versuchen, die auf dem Testgelände in Dudenhofen durchgeführt worden sind. Der Partner Continental Teves stellte während der Abschlusspräsentation ein entsprechendes Szenario anhand einer vollen Sperrung der Langen Gerade vor (siehe auch UAP4.4).

### 3.5.5 Erprobung im öffentlichen Straßenverkehr

Hessen Mobil hat als erfahrener Verkehrsinfrastrukturbetreiber die Leitung des UAP 5.5 – Erprobung im öffentlichen Straßenverkehr – übernommen. Dabei stand für Hessen Mobil im Mittelpunkt, dass im Projekt Ko-HAF die Fahrfunktionen unter realistischen Verkehrsbedingungen in einem modernen Infrastrukturmilieu erprobt werden können, um so möglichst übertragbare und belastbare Testergebnisse zu erzielen. Mit dem DRIVE-Testfeld Hessen stand dieses moderne Infrastrukturmilieu für die Realerprobung der Fahrfunktionen im Projekt Ko-HAF zur Verfügung.



### 3.5.5.1 Das Ko-HAF Testgebiet – DRIVE Testfeld Hessen



Abbildung 234: Moderne Ausstattung der BAB 5 bei Frankfurt am Main.

Das DRIVE-Testfeld Hessen für kooperative und hochautomatisierte Anwendungen – rund um Frankfurt am Main – zeichnet sich durch eine dichte Verkehrserfassung, umfassende Verkehrsbeeinflussungsanlagen sowie durch die Nutzbarkeit modernster Kommunikationstechnologien aus. Im Zusammenspiel zwischen der von 3D Mapping erstellten hochgenauen Karte des Testfelds, sowie dem in der kooperativen Verkehrsleitzentrale – dem DRIVE Center Hessen – betriebenen Safety Server, konnten den Partnern umfangreiche Tests im öffentlichen Straßenverkehr ermöglicht werden.

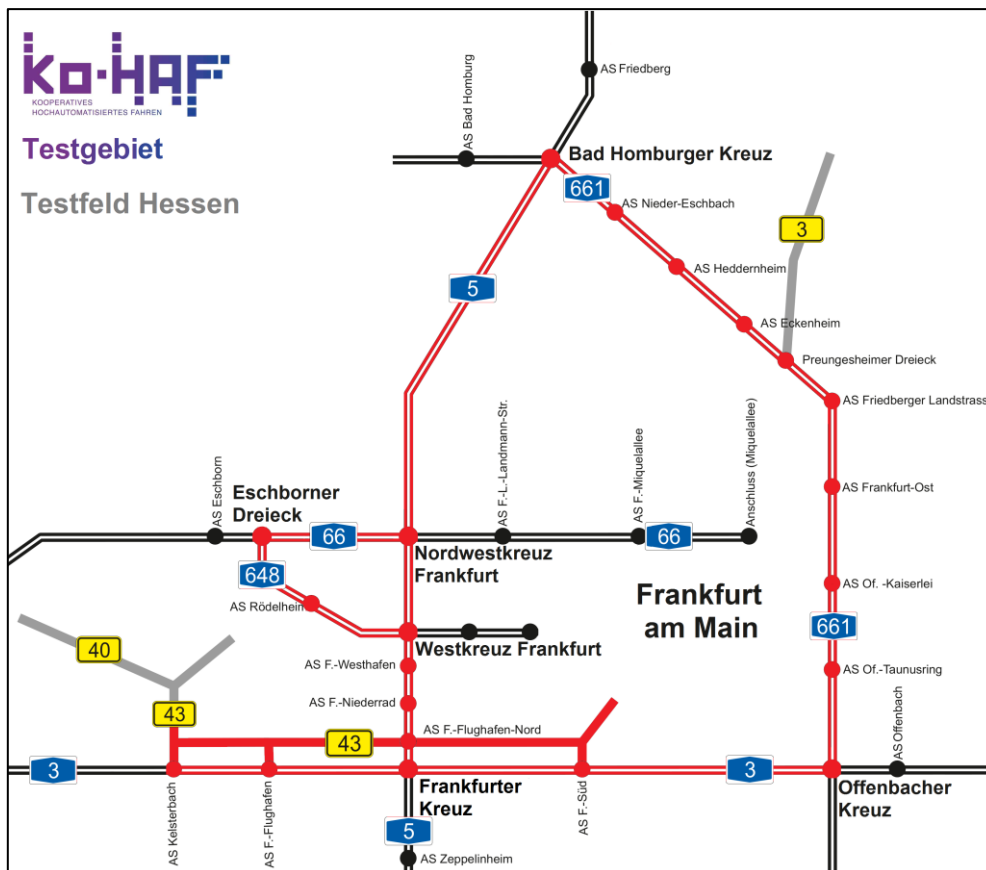


Abbildung 235: Ko-HAF Testgebiet – Das DRIVE Testfeld Hessen rund um Frankfurt am Main.

Das Ko-HAF-Testgebiet erstreckte sich über den geschlossenen Autobahnring rund um Frankfurt am Main und umfasste Teilabschnitte der BAB 3, 5 und 661. Zusätzlich wurde das Testfeld noch um Teile der BAB 648 und 66 sowie der B43 erweitert. Die Einbeziehung dieser Streckenabschnitte stellte eine sinnvolle Erweiterung des Testfeldes dar, da hierdurch für die Erprobungen wichtige heterogene Rahmenbedingungen vorzufinden waren. Nach ausdrücklichem Wunsch der Partner in Ko-HAF wurde darüber hinaus auch ein Abschnitt der nahe dem OPEL-Testgelände in Rodgau-Dudenhofen gelegenen, autobahnähnlichen B45 für die Erprobung freigegeben. Hierfür wurden von Hessen Mobil die Voraussetzungen vor Ort geschaffen und anschließend die Infrastruktur durch 3D Mapping nachträglich hochgenau kartiert. Die unmittelbare Nähe zum OPEL-Testgelände, auf dem die Abschlussdemonstration in Ko-HAF stattfand, ermöglichte ebenfalls mehrere Fahrdemonstrationen im öffentlichen Straßenverkehr über die B45. Unter anderem die Partner Bosch und Continental luden dazu die Besucher mit ihren Versuchsträgern ein.

### 3.5.5.2 Vorbereitung des Testfeldes und Testdurchführung

Das UAP 5.5 hatte gemäß dem Projektzeitplan im Dezember 2017 die Arbeit aufgenommen. Die für eine erfolgreiche Erprobung erforderliche Testinfrastruktur stand kurze Zeit später bereits in vollem Umfang zu Verfügung. Zur Unterstützung der Projektpartner stellte Hessen Mobil auf Grundlage von im Vorfeld gesammelten und abgestimmten Anforderungen aller Partner eine Karte des Testfeldes bereit, aus welcher für die Erprobung einzelner Fahrfunktionen im besonderen Maße geeignete Abschnitte hervorgingen. Die von den Partnern durchgeführten Testfahrten konnten so – wie gewünscht – selbstständig organisiert und durchgeführt werden. Hessen Mobil koordinierte dabei die Tests und konnte teils erweiterte Hilfestellungen leisten.

Neben fahrzeugspezifischen Tests erprobte beispielsweise der Ko-HAF-Partner Continental im Rahmen des UAP 5.5 den Einsatz des eigens entwickelten Koordinationstools. Entlang der B45 wurden hierfür – in Abstimmung mit dem Straßenbetriebsdienst von Hessen Mobil – Kommunikationseinheiten verbaut, um im weiteren Verlauf die Reichweite des Systems unter

verschiedenen Randbedingungen zu testen. Derartige Erprobungen konnten in der Planung und dem Aufbau durch Hessen Mobil aktiv unterstützt werden. Notwendige Genehmigungen für den Aufbau von Anlagen im öffentlichen Straßenraum wurden erteilt und die Maßnahmen bei Bedarf zusätzlich abgesichert.

Als Leiter der Erprobung im öffentlichen Straßenverkehr und im Hinblick auf das nachfolgende UAP 5.6, war Hessen Mobil darüber hinaus treibende Kraft in der Vereinbarung eines gemeinschaftlichen Daten-Logs. In Abstimmung zwischen AP4 und AP5 wurden dazu bereits ab Mitte 2017 erste Vorschläge erarbeitet, mit dem Ziel einer einheitlichen Datenstruktur, die eine Auswertung der Testfahrten nachträglich möglich machen sollte. In einer eigens dafür gegründeten "Kleingruppe Logging" wurden die Anforderungen und technischen Möglichkeiten zwischen allen betroffenen Partnern diskutiert und gegen Ende 2017 ein gemeinsames Vorgehen dazu vereinbart. Demnach sollten alle ab Anfang 2018 stattfindenden Erprobungsfahrten – sowohl auf dem Testgelände in Dudenhofen, als auch im Testgebiet auf öffentlicher Straße – geloggt und über den Safety Server bereitgestellt werden. Hessen Mobil stellte den Partnern dazu eigene Zugänge zu abgegrenzten Bereichen des Safety Servers bereit, der eigens für die Datenablage dieser Log-Daten genutzt werden konnte. Eine Bewertung der Daten fand jedoch nicht im Rahmen von UAP 5.5, sondern nachgelagert im UAP5.6 statt.

### 3.5.5.3 Abschlussbetrachtung

Insgesamt kann das UAP5.5 eine positive Bilanz aus der Erprobung im öffentlichen Straßenverkehr ziehen. Das Testfeld Hessen konnte entsprechend den Anforderungen aus der Vorhabenbeschreibung vorbereitet sowie in Betrieb genommen werden und bewies hierbei seine hervorragende Eignung, um den Ko-HAF-Partnern anschließend umfangreiche und abwechslungsreiche Tests zu ermöglichen. Mittels der hochgenauen Karte und der Kommunikation über den Safety Server konnten die Partner wertvolle Informationen über die eigenen Fahrfunktionen oder auch über die verwendete Sensorik und deren Algorithmen sammeln.

Abschließend bleibt jedoch festzuhalten, dass aufgrund der sicherheitsrelevanten Aspekte der Erprobung von hochautomatisierten Fahrfunktionen, die für die Umsetzung im Fahrzeug verantwortlichen Ko-HAF-Partner den Tests auf dem Testgelände in Dudenhofen deutlich mehr Bedeutung beigemessen haben. Da das Testgelände des Projektpartners Opel darüber hinaus umfangreicher als ursprünglich geplant genutzt werden konnte und sich die Rahmenbedingungen flexibler als erwartet anpassen ließen, wurden die Umfänge für die Erprobung im öffentlichen Straßenverkehr scheinbar reduziert. So blieb die Nachfrage nach konkreter Unterstützung bei geplanten Tests im Testgebiet hinter den Erwartungen von Hessen Mobil zurück und ging über vereinzelte exemplarische Tests nicht hinaus. Dabei sollten gerade die Tests im öffentlichen Straßenverkehr erste Aussagen zur Reife der Technologien ermöglichen und Fehler, welche unter idealen Testbedingungen nicht auftreten, aufzeigen. Nicht zuletzt muss sich die Einführung von hochautomatisierten Fahrfunktionen in Serienfahrzeugen zukünftig an der erfolgreichen Bewältigung von Manövern unter realistischen Verkehrsbedingungen und mit teils erschwerten Rahmenbedingungen messen.

Für die Zukunft wäre es daher wünschenswert, wenn der Erprobung von hochautomatisierten Fahrfunktionen im öffentlichen Straßenverkehr noch mehr Bedeutung zukommen würde und die beteiligten Akteure von öffentlicher Hand und aus der Fahrzeugindustrie ihre Zusammenarbeit in diesem Bereich weiter forcieren. Das Projekt Ko-HAF hat hierfür aufgezeigt, dass ein gemeinsamer Ansatz über ein Back-End, welches die Daten zentral sammelt, aggregiert und an alle Fahrzeuge verteilt ein valides und zielführendes System darstellt, dessen Weiterverfolgung erfolgsversprechend ist.

## 4 Wichtigste Ereignisse

### 4.1 Projektübergreifendes Plenum

Das gesamte Projektteam von Ko-HAF traf sich zum ersten Mal am 10. März 2016 zum projektübergreifenden Plenum in Darmstadt. Hier stellten die Arbeitspaketleiter Zielsetzung, Zeitplanung sowie den aktuellen Status und ausgewählte Ergebnisse der Arbeiten in den jeweiligen AP vor und gaben einen Ausblick auf die nächsten Schritte. Nach dem Impulsvortrag „Autonome Fahrzeuge – wie alles begann“ von Professor Wünsche bearbeiteten die Projektpartner in fünf Gruppen Themen, wie



Abbildung 236: Das Ko-HAF-Team beim projektübergreifenden Plenum am 10. März 2016 in Darmstadt.

bspw. Drehbuch für den geplanten Projekt-Film, Szenarien für die Abschlusspräsentation oder Möglichkeiten für eine weitergehende Nutzung der Ko-HAF-Daten. Über ein Brainstorming wurden Synchronisationsbedarfe zwischen den AP gesammelt. Diese wurden teilweise direkt geklärt, teilweise in den folgenden Wochen bearbeitet. Flankiert wurde die Veranstaltung von einer Posterausstellung der Promotionsarbeiten in Ko-HAF. Übergeordnetes Ziel des Plenums war es, die Projektmitglieder über die AP-Grenzen hinaus miteinander ins Gespräch zu bringen und damit den Teamgeist im Projekt zu stärken.

### 4.2 Zwischenpräsentation

Die Zwischenpräsentation des Projekts Ko-HAF fand gemäß Beschluss des Steuerkreises am 18. Mai 2017 im Schloss Johannisburg in Aschaffenburg statt.

Zur Vorbereitung fand am 24. April 2017 eine Generalprobe mit Vertretern aller Partner aus allen AP statt, in der die Fachvorträge und die Fahrzeugdemos erprobt wurden. Des Weiteren wurde dabei der Aufbau der LCD-Screens und der Rollups vor Ort optimiert.

Insgesamt waren ca. 280 Teilnehmer aus der Fachszene der Einladung zur Zwischenpräsentation gefolgt. Abbildung 237 zeigt die Verteilung der Gäste.



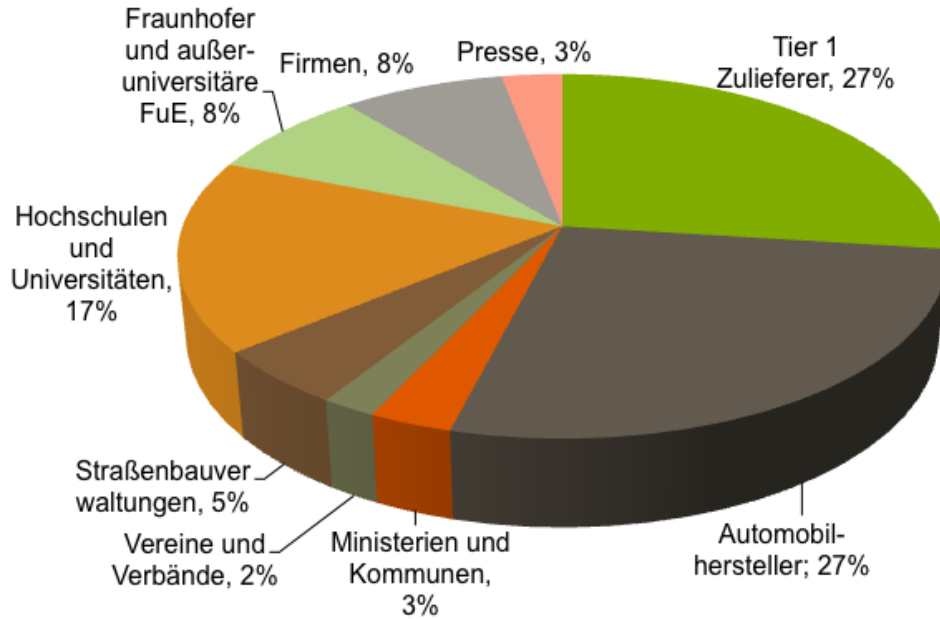


Abbildung 237: Verteilung der Besucher der Zwischenpräsentation.

Die Projektpartner zeigten die Zwischenergebnisse aus allen AP mittels

- 15 Fachvorträgen,
- 36 Rollups,
- 28 Präsentationsständen,
- 2 Fahrsimulatoren sowie
- 8 Versuchsträgern.

Der in Abbildung 238 und Abbildung 239 dargestellte Flyer zeigt das Vortragsprogramm sowie den Lageplan, der den Gästen eine grobe Orientierung liefern sollte.

### ZEITPLANUNG

ZEITZEIT	INHALT	REFERENT
09:00 - 10:00	Eröffnen und Registrierung der Gäste	
10:30 - 10:40	Grußwort des Hochschers	Klaus Henning, Oberbürgermeister Stadt Aschaffenburg
10:40 - 10:50	Grußwort des Fördergebers	Bundesministerien für Wirtschaft und Energie
10:50 - 11:05	Einführung Ko-HAF und Überblick Programm	Dr. Andrea Huber, Continental Tyres AG & Co. oHG
<b>BITTE BEACHTEN SIE:</b> Für alle zu den Vorträgen haben Sie die Möglichkeit, Technikerinnen im Tagessaal und im Innenhof zu besuchen.		
11:15 - 11:30	Unterstützung des hochautomatisierten Fahrens durch ein Backend – Überblick und Motivation	Dr. Lukas Kloprowski, Robert Bosch GmbH
11:30 - 11:40	Erfassung der hochautomatisierten Fahrerprofile	Dr. Günther Göttsche, DLR
11:50 - 12:00	Der Safety Server – zentrale Rolle und Konzept	Yolker Kreis, Universität Passau – Institut für Softwareentwicklung in technischen Anwendungen
12:10 - 12:30	Herausforderungen und Konzepte zur Kommunikation beim hochautomatisierten Fahren	Joachim Schmitt, Ostbayerische Technische Hochschule Landshut
12:30 - 12:50	Mittagsessen	
13:00 - 13:30	Fahrerqualifikation im Kontext kooperativer Systeme	Janus Herdich, Continental Tyres AG & Co. oHG
13:30 - 14:30	Fusion von 2 getrennten Daten- und sensorbasierten Umfeldmodellen	Sebastian Stöckel, Audi AG
14:10 - 14:30	Überblick über die Fahrerqualifikation im Ko-HAF	Dr. Stefan Bogen, Adam Opel AG
14:30 - 14:50	Methodik zur Szenarioanalyse – Vorbereitung für das hochautomatisierte Fahren	Holger Draxler, Technische Universität Braunschweig – Institut für Fahrzeugtechnik
14:50 - 15:10	Fahrerqualifikation mit Teststand und Simulationen	Johannes Tietze, Continental Safety Engineering, International Center for Automotive Engineering (ICAE)
15:10 - 15:30	virtuelle Training – Szenarioanalyse für HAF-Ärger	Alexander Schwaninger, BMW AG
15:30 - 15:50	Fahrerqualifikation im Kontext der autonomen Fahrführung	Chao Mierlangen, Robert Bosch GmbH
15:50 - 16:10	Erfolge eigener Automatisierung, Vgl. und Möglichkeiten des Menschen	Alexander Frey, Bundesanstalt für Straßenwesen
16:10 - 16:30	Wie schätzen Fahrer/innen die Fahrerqualifikation beim hochautomatisierten Fahren ein?	Dr. Frank Heugler, Universität Würzburg – Interdisziplinäres Zentrum für Hochleistungsantriebe
16:30 - 16:50	Das automatisierte Verkehrsnetz als Perspektive	Gerd Riegelhoff, Heizen Mühl – Straßen- und Verkehrsmanagement
16:50 - 17:00	Wrap up und Ausblick	Dr. Andrea Huber, Continental Tyres AG & Co. oHG

**GEMEINSAM SEHEN WIR BESSER!**  
Kooperatives, hochautomatisiertes Fahren für mehr Sicherheit und Komfort im Straßenverkehr

Zwischenpräsentation des Projekts Ko-HAF  
18. Mai 2017 – Aschaffenburg

Programm & Lageplan

www.ko-haf.de

Abbildung 238: Vortragsprogramm zur Zwischenpräsentation auf dem Veranstaltungsflyer.

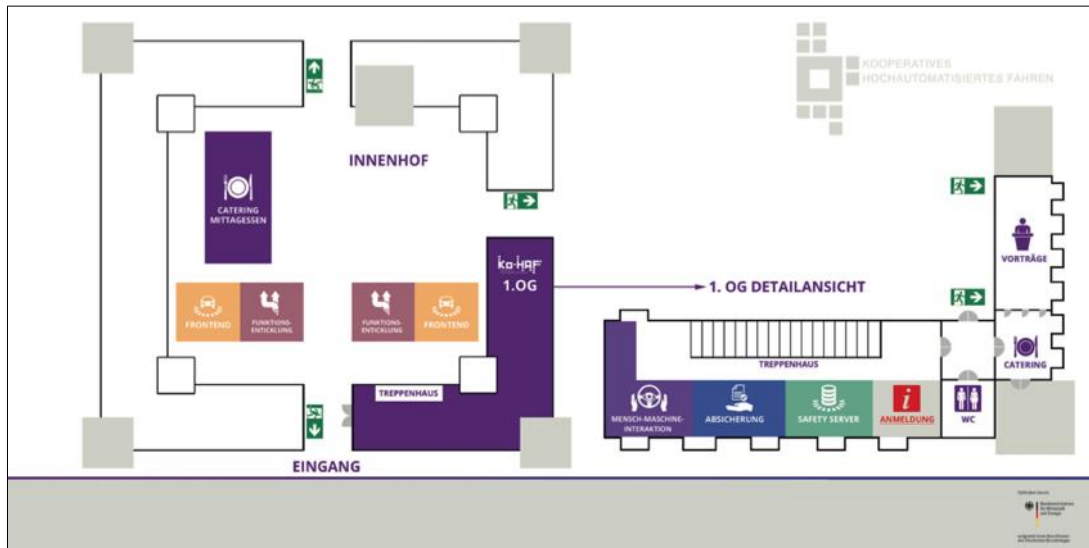


Abbildung 239: Lageplan zur Zwischenpräsentation auf dem Veranstaltungsflyer.

Thema	Referent
Grußwort des Hausherrn	Oberbürgermeister Klaus Herzog
Grußwort des Fördergebers	Ernst Stöckl-Pukall, Referatsleiter, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Einführung Ko-HAF und Überblick Programm	Dr. Andree Hohm, Projektkoordinator Continental Teves AG & Co. oHG
Unterstützung des hochautomatisierten Fahrens durch ein Backend – Überblick und Motivation	Dr. Lukas Klejnowski, Robert Bosch GmbH
Erstellung der hochauflösenden Referenzkarte	Dr. Gunnar Gräfe, 3D Mapping Solutions GmbH
Der Safety Server – Zentrale Rolle und Konzept	Tobias Knerr, Universität Passau – Institut für Softwaresysteme in technischen Anwendungen
Herausforderungen und Konzepte zur Kommunikation beim hochautomatisierten Fahren	Josef Schmid, Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Fahrzeuglokalisierung im Kontext kooperativer Systeme	Jonas Herzfeld, Continental Teves AG & Co. oHG
Fusion von a priori Kartendaten und sensorbasiertem Umfeldmodell	Sebastian Skibinski, Audi AG
Überblick über die Fahrfunktionen in Ko-HAF	Dr. Stefan Berger, Opel Automobile GmbH
Methodik zur Gesamtsystemerprobung für das hochautomatisierte Fahren	Holger Znamiec, Technische Universität Braunschweig – Institut für Fahrzeugtechnik
Fahrzeugerprobung mit Testkatalog und Koordinations-Tool	Johannes Vetter, Continental Safety Engineering International GmbH
Virtuelle Erprobung – Sensormodelle für HAF-Erprobung	Alexander Schaermann, BMW AG
Fahrerverfügbarkeit im Kontext der automatisierten Fahrzeugführung	Claus Marberger, Robert Bosch GmbH
Effekte längerer Automatisierung, Vigilanz und Müdigkeit des Menschen	Alexander Frey, Bundesanstalt für Straßenwesen
Wie schränken fahrfremde Tätigkeiten die Fahrerverfügbarkeit beim hochautomatisierten Fahren ein?	Dr. Frederik Naujoks, Universität Würzburg – Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften
Das automatisierte Verkehrssystem als Perspektive	Gerd Riegelhuth, Hessen Mobil – Straßen- und Verkehrsmanagement

Tabelle 11: Vortragsprogramm der Ko-HAF Zwischenpräsentation.



Sämtliche Fachvorträge und Rollups wurden interessierten Personen als pdf zum Download zur Verfügung gestellt. Außerdem wurde ein Video zur Zwischenpräsentation erstellt, das im YouTube-Channel von Ko-HAF unter [www.ko-haf.de/youtube](http://www.ko-haf.de/youtube) zu finden ist.

Die folgenden Fotos vermitteln einen Eindruck der Veranstaltung und spiegeln das große Interesse der Besucher an den Zwischenergebnissen des Projekts wider.

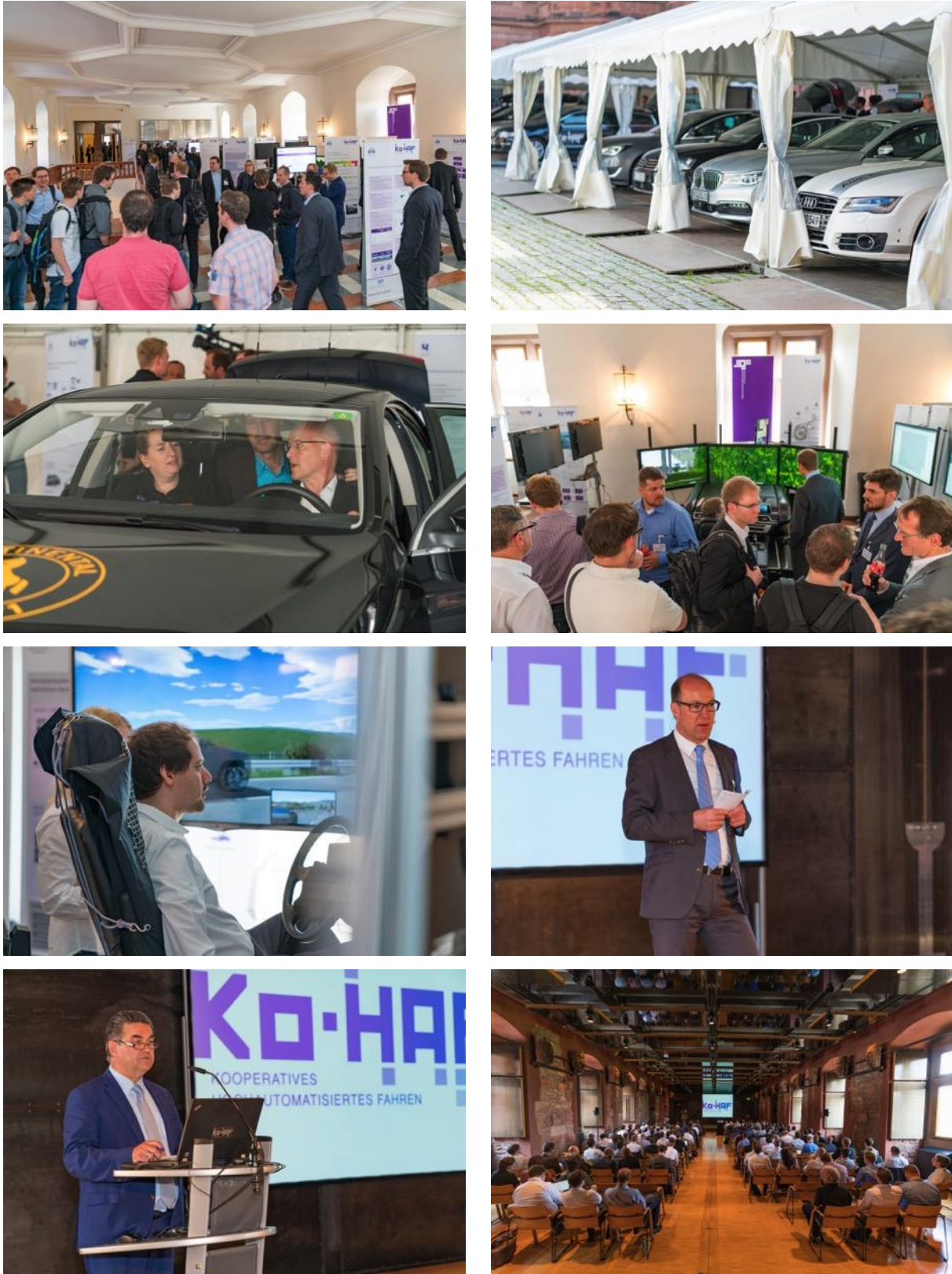


Abbildung 240: Impressionen von der Ko-HAF Zwischenpräsentation.

### 4.3 Testkampagnen

Im Projektverlauf fanden zahlreiche, meist mehrtägige Testkampagnen statt, in denen die verschiedenen Entwicklungsstände der Fahrzeuge im Zusammenspiel mit dem Safety Server erprobt wurden. Auf dieser Basis erfolgten jeweils iterativ weitere Entwicklungsschritte.

Gegen Ende des Projekts stand in den Testkampagnen immer stärker die Abschlusspräsentation im Fokus. Dazu wurden die zuvor abgestimmten Demoszenarien erprobt und schrittweise perfektioniert, zunächst einzeln, anschließend im Zusammenspiel im Hinblick auf einen für die Abschlusspräsentation möglichst reibungslosen Ablauf und damit hohen Durchsatz.

Folgende Mess- und Testkampagnen fanden im Projektverlauf statt:

- 13. und 14.02.2017: Messkampagne auf der öffentlichen Teststrecke (Autobahndreieck um Frankfurt am Main)
- 29. bis 31.05.2017: Testkampagne, Opel Prüfgelände, Rodgau-Dudenhofen
- 27. bis 29.09.2017: Testkampagne, Opel Prüfgelände, Rodgau-Dudenhofen
- 06. bis 08.11.2017: Testkampagne, Opel Prüfgelände, Rodgau-Dudenhofen
- 30. und 31.01.2018: Testkampagne, Opel Prüfgelände, Rodgau-Dudenhofen
- 19. und 20.03.2018: Testkampagne, Opel Prüfgelände, Rodgau-Dudenhofen
- 15. bis 17.05.2018: Testkampagne, Opel Prüfgelände, Rodgau-Dudenhofen
- 04. bis 06.06.2018: Testkampagne, Opel Prüfgelände, Rodgau-Dudenhofen
- 04. und 05.07.2018: Testkampagne, Opel Prüfgelände, Rodgau-Dudenhofen
- 20. bis 22.08.2018: Generalprobe zur Abschlusspräsentation

### 4.4 Abschlusspräsentation

Die Abschlusspräsentation des Projekts Ko-HAF fand gemäß Beschluss des Steuerkreises am 19. und 20. September 2018 auf dem Opel Prüfgelände in Rodgau-Dudenhofen statt. Die Ergebnisse wurden dabei komplett in englischer Sprache vorgestellt, um die Ergebnisverbreitung über den deutschsprachigen Raum hinaus zu forcieren und eine höhere Sichtbarkeit in internationalen Standardisierungsprozessen zu ermöglichen.

Zur Vorbereitung der Abschlusspräsentation fanden insgesamt sechs AP-übergreifende Testsessions vor Ort statt, um die verschiedenen Fahrdemos ausführlich zu erproben und zu optimieren. Außerdem traf sich die Arbeitsgruppe „Abschlusspräsentation“ regelmäßig vor Ort, um alle organisatorischen Fragestellungen abzustimmen und einen reibungslosen Verlauf der Veranstaltung garantieren zu können.

Vom 20. bis 22. August 2018 fand die Generalprobe zur Abschlusspräsentation mit Vertretern aller Partner aus allen AP statt. Dabei wurden vor allem die Fachvorträge und der Ablauf der einzelnen Fahrzeugdemos sowie deren Abstimmung aufeinander erprobt. Des Weiteren wurden dabei zahlreiche organisatorische Detailfragen geklärt und der Aufbau der LCD-Screens und Rollups optimiert.





Abbildung 241: Projektteam und Versuchsträger bei der Generalprobe zur Abschlusspräsentation auf der sogenannten Langen Geraden auf dem Opel Prüffeld in Dudenhofen.

Insgesamt waren an den beiden Veranstaltungstagen ca. 350 Teilnehmer aus der Fachszene der Einladung zur Abschlusspräsentation gefolgt. Die Projektpartner zeigten dabei mit einem Team von insgesamt 165 Personen die Ergebnisse mittels

- 17 Fachvorträgen,
- 61 Rollups,
- 2 Fahrsimulatoren (Mensch-Maschine-Interaktion / virtuelle Erprobung),
- 6 Versuchsträgern an Präsentationsständen sowie
- 12 Versuchsträgern in Fahrdemos sowie dazugehörigen Demo-Fahrzeugen zur Stellung bestimmter Szenarien.

Der in Abbildung 242 und Abbildung 245 dargestellte Flyer zeigt das Vortragsprogramm sowie den Lageplan, der den Gästen eine grobe Orientierung liefern sollte.

WEDNESDAY, SEPTEMBER 19, 2018		THURSDAY, SEPTEMBER 20, 2018	
TIME	ROOM: AUDITORIUM (Topic/Speaker/Organisation)	TIME	ROOM: AUDITORIUM (Topic/Speaker/Organisation)
10:30 – 11:45	Arrival and registration of the guests at Rodgau Lake, bus transfer to Opel Test Center Dudenhofen	08:30 – 09:15	Arrival and registration of the guests at Rodgau Lake, bus transfer to Opel Test Center Dudenhofen
12:00 – 12:15	Welcome by the host Dr. Burkhard Milke, Director Electric and Electronic Systems, Opel Automobile GmbH	09:30 – 09:50	Ko-HAF – Safety by Cooperation Dr. Andree Hohn, Project Coordinator Ko-HAF, Continental Teves AG & Co. oHG
12:15 – 12:30	Welcome by the Ministry BMWi Markus Hehl, Head of the industry department, Federal Ministry of Economic Affairs and Energy	10:00 – 10:30	Are you Ready to Take Over? Driver State during Automated Driving Jonas Radlmayr, TU München – Chair of Ergonomics
12:30 – 13:00	Ko-HAF – Safety by Cooperation Dr. Andree Hohn, Project Coordinator Ko-HAF, Continental Teves AG & Co. oHG	10:30 – 11:00	Drowsiness and Fatigue in Automated Driving – Empirical Data for an Integrative Framework Veronika Weinbecker, Audi AG
14:30 – 15:15	Safety and Comfort of Highly Automated Driving Functions through a Continuous Data Exchange between Vehicle Fleet and Server Dr. Lukas Klejnowski, Robert Bosch GmbH Sebastian Szabinski, Audi AG	11:00 – 11:30	Non-driving Related Tasks during Automated Driving – Implications for Take-Over Performance and HMI Design Oliver Jarosch, BMW AG Bernhard Wandtner, Opel Automobile GmbH
15:15 – 15:45	Development of Automated Driving Functions Dr. Stefan Berges, Opel Automobile GmbH	12:00 – 12:30	What's his Plan? – Detection of Typical Motion Patterns for Maneuver Prediction David Augustin, Opel Automobile GmbH
15:45 – 16:30	Highly Automated Driving – Validation and Test Johannes Vettes, Continental Safety Engineering International GmbH	12:30 – 13:00	Strategical and Tactical Aspects of Behavior Planning for Automated Driving on Highways Björn Reuber, TU Braunschweig – Institute of Automotive Engineering
16:30 – 17:15	Focusing on the Driver: a Human Factors Approach to Automated Driving Prof. Dr. Klaus Bengler, TU München – Chair of Ergonomics	13:00 – 13:30	Minimal Risk Manuever Thorsten Leonhardt, Audi AG
			ROOM: KAPITÄN (Topic/Speaker/Organisation)
			Creation and Deployment of HD Map Data Dr. Gunnar Göbke, SD Mapping GmbH Tobias Knerer, University Passau – FORWISS Josef Schmid, Technical University of Applied Sciences Amberg-Weiden
			Continuous Updating of Backend HD Map Data Based on Vehicle Fleet Data Florian Jomrich, Opel Automobile GmbH Dr. Lukas Klejnowski, Robert Bosch GmbH
			Online Localization and Fusion via Vehicle Sensor and Backend HD Map Data Maximilian Hart, Opel Automobile GmbH Dr. Matthias Schreier, Continental Teves AG & Co. oHG
			Functional Testing of Automated Driving on Highways Holger Znamiec, TU Braunschweig – Institute of Automotive Engineering
			Coordination Tools for HAD System Testing Johannes Vettes, Continental Safety Engineering International GmbH
			Simulation as a Test Tool Matthias Burg, Continental Teves AG & Co. oHG



**TOGETHER WE SEE BETTER!**  
Cooperative, highly automated driving for more safety and convenience in road traffic

Final Presentation of the Ko-HAF Project on September 19/20, 2018 in Rodgau-Dudenhofen

**PROGRAM & LOCATION MAP**



www.ko-haf.de

**! EVENING EVENT (STARTING AT 18:30)**  
We would like to conclude the first day with a get-together at Rodgau Lake.

**! LISTEN TO THE SPEECHES, VISIT THE DRIVING DEMONSTRATIONS AND MORE THAN 70 VIDEO AND POSTER PRESENTATIONS AS WELL AS DRIVING SIMULATORS!**

OVERVIEW

SAFETY SERVER

FRONTEND

HUMAN-MACHINE-INTERACTION

FUNCTION DEVELOPMENT

VALIDATION AND TEST

all lectures, video and poster presentations are written in English. The lectures will be held in German language. A simultaneous translation will be provided in English.

Abbildung 242: Vortragsprogramm zur Abschlusspräsentation auf dem Veranstaltungsflyer.

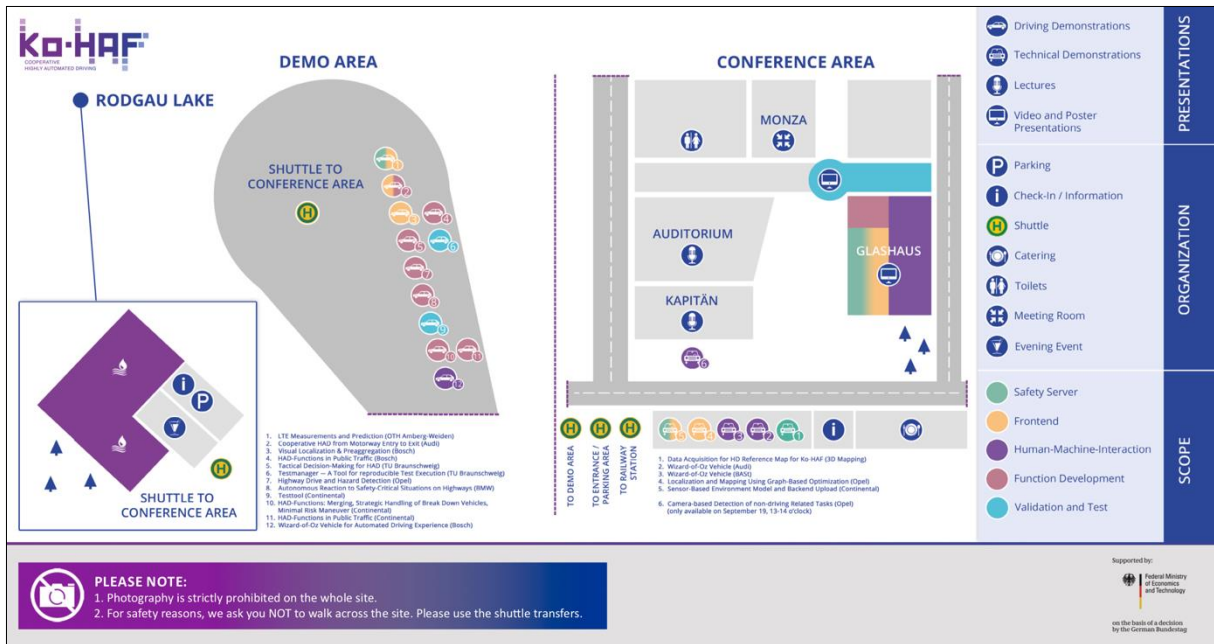


Abbildung 243: Lageplan zur Abschlusspräsentation auf dem Veranstaltungsflyer.

Thema	Referent
Safety by Cooperation	Dr. Andree Hohm, Project Coordinator Ko-HAF, Continental Teves AG & Co. oHG
Safety and Comfort of HAD Functions through a Continuous Data Exchange between Vehicle Fleet and Server	Dr. Lukas Klejnowski, Robert Bosch GmbH und Sebastian Skibinski, Audi AG
Development of Automated Driving Functions	Dr. Stefan Berger, Opel Automobile GmbH
Highly Automated Driving - Validation and Test	Johannes Vetter, Continental Safety Engineering International GmbH
Focusing on the driver: A Human Factors Approach to Automated Driving	Prof. Dr. phil. Klaus Bengler - TU Munich, Chair of Ergonomics
Are you Ready to Take-over? - Driver State During Automated Driving	Jonas Radlmayr, TU Munich - Chair of Ergonomics
Drowsiness and Fatigue in Automated Driving - Empirical Data for an Integrative Framework	Veronika Weinbeer, Audi AG
Non-driving Related Tasks in Automated Driving - Implications for Driver's Take-over Performance and HMI Design	Bernhard Wandtner, Opel Automobile GmbH / Oliver Jarosch, BMW Group
Motion Pattern Recognition for Maneuver Detection and Trajectory Prediction On Highways	David Augustin, Opel Automobile GmbH
Strategical and Tactical Aspects of Behavior Planning for Automated Driving on Highways	Björn Reuber, TU Braunschweig - Institute of Automotive Engineering
Minimal Risk Maneuver	Dr. Thorsten Leonhardt, Audi AG
Creation and Deployment of HD Map Data	Dr. Gunnar Gräfe, 3D Mapping GmbH / Tobias Knerr, FORWISS (University of Passau) / Josef Schmid, Technical University of Applied Sciences Amberg-Weiden
Continuous Updating of Backend HD Map Data Based on Vehicle Fleet Data	Dr. Lukas Klejnowski, Robert Bosch GmbH / Florian Jomrich, Opel Automobile GmbH
Online Localization and Fusion via Vehicle Sensor and Backend HD Map Data	Dr. Matthias Schreier, Continental Teves AG & Co. oHG / Maximilian Harr, Opel Automobile GmbH



Functional Testing of Automated Driving on Highways	Holger Znamiec, TU Braunschweig - Institute of Automotive Engineering
Coordination Tools for HAD-System Testing	Johannes Vetter, Continental Safety Engineering International GmbH
Simulation as Tool	Matthias Burg, Continental Teves AG & Co. oHG

Tabelle 12: Vortragsprogramm der Ko-HAF Abschlusspräsentation.

Unter [www.ko-haf.de/ergebnisse](http://www.ko-haf.de/ergebnisse) sind sämtliche Fachvorträge und Rollups der Abschlusspräsentation als pdf verfügbar. Zusätzlich enthält diese Internetseite im Sinne einer zentralen Ergebnisdarstellung auch eine Liste aller wissenschaftlichen Publikationen. Außerdem wurde auch zur Abschlusspräsentation ein Video erstellt, das im YouTube-Channel von Ko-HAF unter <https://www.ko-haf.de/youtube> zu finden ist.

Die folgenden Fotos vermitteln einen Eindruck der Veranstaltung und spiegeln das große Interesse der Besucher an den Ergebnissen des Projekts wider.





Abbildung 244: Impressionen von der Ko-HAF Abschlusspräsentation am 19. und 20. September 2018 auf dem Opel Prüfgelände in Rodgau-Dudenhofen.



## 5 Austausch mit anderen Förderprojekten und internationalen Standardisierungskonsortien

### 5.1 Pegasus

Das Projekt PEGASUS befasste sich mit der Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen. Damit ergab sich eine thematische Überschneidung mit AP5 in Ko-HAF. Vor diesem Hintergrund wurde, nach Freigabe durch die beiden Projektsteuerkreise, zwischen AP5-Vertretern und PEGASUS-Partnern vereinbart, die Arbeiten und verwendeten Begrifflichkeiten aufeinander abzustimmen und relevante Dokumente auszutauschen.

Das Projekt PEGASUS befasste sich mit der Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen. Damit ergab sich eine thematische Überschneidung mit AP5 in Ko-HAF. Vor diesem Hintergrund führten Vertreter beider Projekte gemeinsame Telefonkonferenzen und Workshops durch, um die Arbeiten und die jeweils verwendeten Begrifflichkeiten aufeinander abzustimmen.

### 5.2 SENSORIS

Wie in Kapitel 3.1.2 ausgeführt, wurde bei der Auswahl eines geeigneten Nachrichtenformates für die Kommunikation von Umgebungsdaten aus den Ko-HAF-Fahrzeugen auf das ursprünglich von HERE entwickelte „Vehicle Sensor Data Cloud Ingestion Interface (SDII)“<sup>37</sup>-Format gesetzt. Dieses wurde nach intensiver Prüfung als Format mit der höchsten Deckung bezüglich der Erfüllung der Ko-HAF Anforderungen zur Kommunikation identifiziert. Im weiteren Verlauf des Projektes wurde parallel dazu durch die ERTICO ITS Europe sowie zunächst 13 Firmen aus der Automobilindustrie die SENSORIS Innovation Platform gegründet, mit dem Ziel, einen globalen Standard für den Austausch von Sensordaten zu schaffen. Im weiteren Verlauf ist die SENSORIS Innovation Platform auf 25 Firmen, bestehend aus Fahrzeugherstellern, Zulieferern, Navigationssystem-Herstellern, Anbietern digitaler (HD) Karten und Anbietern von verkehrsrelevanten Informationen, angewachsen.

In Ko-HAF wurde daher frühzeitig das zusätzliche Ziel verfolgt, sich an dieser für das Projekt sehr relevanten Standardisierung zu beteiligen. Insbesondere die Synchronisierung der Entwicklung der Nachrichtenformate in Ko-HAF und SENSORIS, aber auch das Interesse Erkenntnisse aus der Erprobung in Ko-HAF in den Standard einfließen zu lassen, waren hier starke Treiber.

---

<sup>37</sup> <https://company.here.com/automotive/new-innovations/sensor-ingestion/>

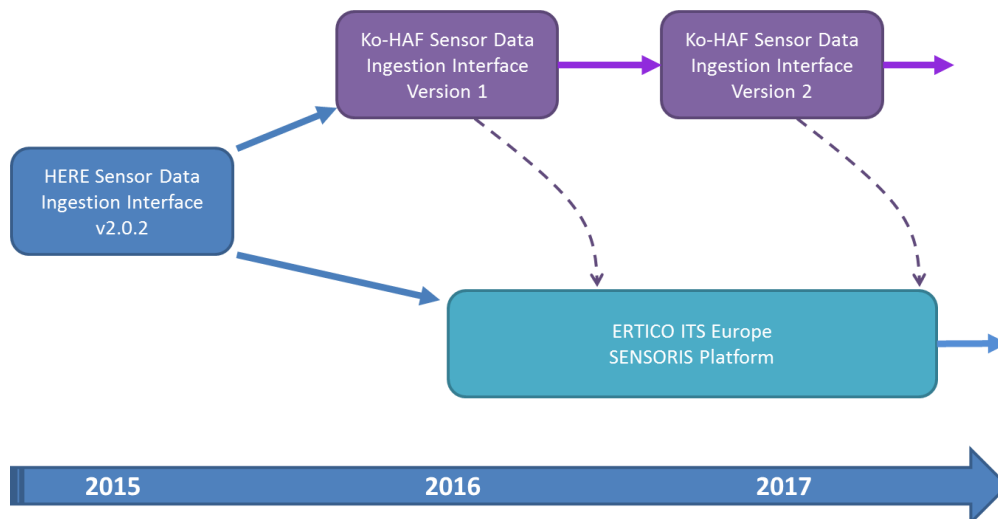


Abbildung 245: Zeitlicher Verlauf der Ko-HAF und SENSORIS-Entwicklung.

Wie in Abbildung 245 dargestellt, gab es im weiteren Projektverlauf eine kontinuierliche Begleitung der SENSORIS-Standardisierung aus Ko-HAF heraus an der sich mehrere Projektpartner aus dem AP1 und AP2 beteiligten. Dabei wurden Ko-HAF spezifische Änderungen im Gremium vorgestellt, diskutiert und z.T. in den Standard eingebracht. Beispielhaft dafür waren Änderungen zur Modellierung von Unterschieden des Fahrzeug-Umfeldes gegenüber einer HAF-Karte.

Schließlich wurde die Kooperation zwischen Ko-HAF und SENSORIS auch mit einer offiziellen Pressemitteilung gewürdigt. Diese wurde von Vertretern beider Konsortien erstellt und abgestimmt und am 27.08.2018 veröffentlicht.

Im Rahmen des Open Autodrive Forums (OADF)<sup>38</sup> wurde darüber hinaus das Zusammenspiel der verschiedenen Standards diskutiert. Ziel ist es, vorhandene Standards und neue Standards wie SENSORIS im Bereich des autonomen Fahrens zu harmonisieren und ein Öko-System an Standards für das automatisierte und autonome Fahren zu schaffen.

Die Anstrengungen des OADF zur Standardisierung finden international Beachtung. So wurden die von OADF vertretenen Standards NDS, ADASIS und SENSORIS im Rahmen des ‚Strategic Innovation Programme automated driving for universal services‘ (SIP-adus) der japanischen Regierung vorgestellt und werden dort für die Standardisierung der in diesem Projekt zum Tragen kommenden Fahrzeug-Backend-Kommunikation in Erwägung gezogen.

### 5.3 ISO

Im Rahmen der Ergebnisverbreitung wurden viele der durchgeführten Studien bereits während der Projektlaufzeit auf internationalen Konferenzen und in Journals vorgestellt und publiziert. Typischerweise beziehen die Arbeitsgruppen und Gremien der ISO aktuelle Forschung, die publiziert wurde, in den Standardisierungsprozess ein, sodass die hohe Menge an Publikationen, die im Rahmen von Ko-HAF entstanden ist, bereits einen indirekten, aber sehr wertvollen Beitrag zur internationalen Standardisierung liefert. Darüber hinaus war Ko-HAF über einige Projektpartner auch aktiv in den entsprechenden ISO-Gremien vertreten.

Bosch beteiligt sich – aus Ko-HAF heraus – aktiv im ISO Projekt „Human Performance and State in the context of Automated Driving“ (TR21959). Hierzu wurde ein erstes Dokument zu „Terms and Definitions“ zur Veröffentlichung durch die ISO fertiggestellt. Ein zweites Dokument zu „Experimental Guidance“ wurde in seiner Grundstruktur auf einem internationalen ISO Workshop in Prag diskutiert. Bosch ist in Kooperation mit der Universität München (Lehrstuhl für Ergonomie – Prof. Dr. Klaus Bengler) für das Kapitel „Testszenarien“ verantwortlich sowie als Mitautor für das Kapitel „Performance Measures“ tätig. Ein erster Entwurf für beide Kapitel

<sup>38</sup> <http://www.openautodrive.org>

wurde bereits erstellt. Durch das Projekt Ko-HAF konnten dafür wesentliche Ergebnisse zuge-  
liefert werden.

Der regelmäßige internationale Austausch von Konsortialpartnern mit ISO Gremien, der eben-  
falls auf Projekttreffen im Rahmen von Ko-HAF kritisch diskutiert wurde, liefert daher einen  
hohen strategischen Mehrwert für die internationale Standardisierung. Die im national geför-  
derten Projekt Ko-HAF erarbeiteten Ergebnisse finden, getragen durch ein Konsortium aus  
Automobilherstellern, Zulieferern und Universitäten, somit Berücksichtigung in den zentralen  
Gremien, die die zukünftigen Leitlinien des automatisierten Fahrens diskutieren und festlegen.

## 6 Ergebnisverbreitung

### 6.1 Konferenzbeiträge und Publikationen

Im Berichtszeitraum wurden folgende Publikationen von den Projektpartnern erstellt, eingereicht und angenommen. Diese Übersicht ist auch auf der Ergebnisseite der Projekthomepage unter [www.ko-haf.de/ergebnisse](http://www.ko-haf.de/ergebnisse) zu finden.

#### 2016

- Plenary meeting des Projekts HF-Auto – Human Factors of Automated Driving, ([www.hf-auto.eu](http://www.hf-auto.eu)), Vorstellung des Projekts Ko-HAF, Professor Dr. Klaus Bengler, 6. April 2016
- Kooperationsforum Fahrerassistenzsysteme, „Projekt Ko-HAF – Nächste Schritte zum hochautomatisierten Fahren“, Dr. Stefan Lüke, 12. Mai 2016
- ISO WG8 Sitzung, Vorstellung des Projekts Ko-HAF im Rahmen des Berichts der deutschen Delegation, Professor Dr. Klaus Bengler, Mai 2016
- Autonomous Vehicle Test & Development Symposium 2016, „Ko-HAF – Cooperative highly automated driving – Contents of the project and focus of research“, Dr. Stefan Lüke, 31. Mai 2016
- Kathrin Zeeb, Axel Buchner, Dr. Michael Schrauf (alle Daimler), „Is take-over time all that matters? The impact of visual-cognitive load on driver take-over quality after conditionally automated driving“, Accident Analysis & Prevention, Ausgabe 92, Seite 230-239, Juli 2016
- Kathrin Zeeb, Axel Buchner, Dr. Michael Schrauf (alle Daimler), „Is take-over time all that matters? The impact of visual-cognitive load on driver take-over quality after conditionally automated driving“, Accident Analysis & Prevention, Ausgabe 92, Seite 230-239, Juli 2016
- Frederik Naujoks, Yannick Forster, Katharina Wiedemann, Alexandra Neukum (alle IZVW), „Speech improves human-automation cooperation in automated driving“, International Conference of Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE), 29. Juli 2016
- Yannick Forster, Frederik Naujoks, Alexandra Neukum (alle IZVW), „Your turn or my turn? Design of a Human-Machine Interface for Conditional Automation“, 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, 24. bis 26. Oktober 2016
- Dennis Befelein, Frederik Naujoks, Alexandra Neukum (alle IZVW), „How do naturalistic non-driving-related tasks influence take-over time and quality during conditionally automated driving?“, HFES – Human Factors and Ergonomics Society Europe, 26.-28. Oktober 2016
- Frederik Naujoks, Dennis Befelein, Alexandra Neukum (alle IZVW), „Welche Aspekte fahrfremder Tätigkeiten schränken die Übernahmefähigkeit beim hochautomatisierten Fahren ein?“, 32. VDI/VW Gemeinschaftstagung Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren 2016, 8. und 9. November 2016
- Dennis Befelein, Frederik Naujoks, Alexandra Neukum (alle IZVW), „How do naturalistic non-driving-related tasks influence take-over time and quality during conditionally automated driving?“, Tagung experimentell arbeitender Psychologen, 26.-29. März 2017
- Alexander Schaermann, Andreas Rauch, Nils Hirsenkorn, Timo Hanke, Ralph Raschofer (alle BMW), „Validation of Vehicle Environment Sensor Models“, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 11.-14. Juni 2017
- Christian Gold (BMW), Frederik Naujoks (IZVW), Jonas Radlmayr (TUM LfE), Hanna Bellem, Oliver Jarosch (beide BMW), „Testing-Scenarios for Human Factors Research in Highly Automated Vehicles“, 8th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, 17.-21. Juli 2017

- Claus Marberger, Holger Mielenz (Bosch), Frederik Naujoks (IZVW), Jonas Radlmayr, Klaus Bengler (TUM LfE), Bernhard Wandtner (Opel), „Understanding and applying the concept of „driver availability“ in automated driving“, 8th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, 17.-21. Juli 2017
- Yannick Forster, Frederik Naujoks, Katharina Wiedemann, Alexandra Neukum (alle IZVW), „A Human-Machine Interface for Cooperative Highly Automated Driving“, 8th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, 17.-21. Juli 2017

## 2017

- Josef Schmid (OTH-AW), „Ko-HAF: Kooperatives Hochautomatisiertes Fahren“, Beitrag zum Forschungsbericht der OTH-AW, Februar 2017
- Dr. Lutz Rittershaus (BAST), „Ko-HAF: Kooperatives Hochautomatisiertes Fahren“, Vorstellung des Projekts im IVS-Beirat des BMVI, 15. Mai 2017
- Matthias Schreier, Ralph Grewe (Teves), „A High-Level Road Model Information Fusion Framework and its Application to Multi-Lane Speed Limit Inference“, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 11. bis 14. Juni 2017
- Alexander Schaermann, Andreas Rauch, Timo Hanke, Ralph Rasshofer (BMW), Nils Hirsenkorn, Erwin Biebl (TUM), „Validation of Vehicle Environment Sensor Models“, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 11. bis 14. Juni 2017
- Oliver Jarosch, Svenja Paradies (BMW), Matthias Kuhnt (Uni Chemnitz), Klaus Bengler (TUM LfE), „It's out of our hands now! Effects of non-driving related tasks during highly automated driving on drivers' fatigue“, 9th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, 26. bis 29. Juni 2017
- Lukas Klejnowski (Bosch), „Towards HAD-map Change Detection on Backend Server“, 4. International VDI Conference – Automated Driving, 5. bis 6. Juli 2017
- Dennis Befelein, Frederik Naujoks, Katharina Wiedemann, Alexandra Neukum (IZVW), „A review of non-driving related tasks used in studies on automated driving“, 8th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, 17.-21. Juli 2017
- Frederik Naujoks, Yannick Forster, Katharina Wiedemann, Alexandra Neukum (IZVW), „Improving Usefulness of Automated Driving by Lowering Primary Task Interference through HMI Design“, Journal of Advanced Transportation, August 2018
- Alexander Frey (BAST), „Vigilanz in einer monotonen, teilautomatisierten Realfahrt“, Doktorandenworkshop der Fachgruppe Verkehrspsychologie an der TU Braunschweig, 19. September 2017
- Holger Znamiec, Björn Reuber, Roman Henze, Ferit Küçükay (IfF), „A method for the efficient testing of new automated driving functions“, FAST-zero '17 (Future Active Safety Technology Toward zero traffic accidents), 18. bis 22. September 2017
- Christian Gold, Marie-Lene Meyer, Florian Fischer (BMW), „Übernahmeleistung in einem Wizard of Oz Versuchsträger beim hochautomatisierten Fahren“, 3. Interdisziplinärer Expertendialog Aktive Sicherheit und automatisiertes Fahren, 25. bis 26. Oktober 2017
- Holger Znamiec, Björn Reuber, Roman Henze, Ferit Küçükay (IfF), „Methodik für das effiziente Testen zukünftiger Generationen automatisierter Fahrfunktionen“, IEDAS – Active safety and automated driving, 3. Interdisciplinary expert dialogue, 25. bis 26. Oktober 2017
- Claus Marberger, Andreas Korthauer, Dietrich Manstetten (Bosch), Frederik Naujoks, Katharina Wiedemann, Christian Purucker (WIVW), „Hochautomatisiertes Fahren im öffentlichen Verkehr – Erste Ergebnisse einer Realfahrzeugstudie zur Bewertung der User Experience sowie der Fahrerleistung in Übernahmesituationen, 8. Tagung Fahrerassistenz TÜV Süd, 22. November 2017

- Yannick Forster, Frederik Naujoks, Alexandra Neukum (IZVW), „Driver Compliance to Take-Over Requests with Different Auditory Outputs in Conditional Automation“, Journal Accident Analysis and Prevention, Dezember 2017
- Frederik Naujoks, Christian Purucker, Katharina Wiedemann (IZVW), Claus Marberger (Bosch), „Non-critical state transitions during conditionally automated driving on German freeways: Effects of non-driving related tasks on take-over time and take-over quality“, Journal „Human Factors“, November 2017
- Bernhard Wandtner, Gerald Schmidt (Opel), Nadja Schömig, Wilfried Kunde (IZVW), „Non-driving related tasks in highly automated driving – Effects of task modalities and cognitive workload on take-over performance“, 9. GMM Fachtagung Automotive meets Electronics, 7. bis 8. März 2018
- Jonas Radlmayr, Klaus Bengler (LfE), „Peripheral Monitoring of Traffic in Conditional Automated Driving“, Annual Meeting Human Factors and Ergonomics Society, 8. bis 10. Oktober 2018, Berlin

## 2018

- Bernhard Wandtner, Gerald Schmidt (Opel), Nadja Schömig (WIVW), Wilfried Kunde (IZVW), „Non-driving related tasks in highly automated driving – Effects of task modalities and cognitive workload on take-over performance“, AmE2018 – Automotive meets Electronics, 7. bis 8. März 2018
- Alexander Frey (BASt), „Monitoring Automated Driving: Physiological Measurement of Humans' Fatigue“, TRA Vienna 2018, 16.-19. April 2018
- Frederik Naujoks, Katharina Wiedemann, Nadja Schömig (IZVW), Oliver Jarosch, Christian Gold (BMW), „Expert-based controllability assessment of control transitions from automated to manual driving“, MethodsX, Volume 5, Mai 2018, Pages 579-592
- Jonas Radlmayr, Fabian Marco Fischer, Klaus Bengler (LfE), „The Influence of Non-Driving Related Tasks on Driver Availability in the Context of Conditionally Automated Driving“, IEA 2018, 26.-30. August 2018
- Timo Pech, Stephan Enhuber, G. Wanielik (TU Chemnitz), Bernhardt Wandtner, Gerald Schmidt (Opel), „Real Time Recognition of Non-Driving Related Tasks in the Context of Highly Automated Driving“, Advanced Microsystems for Automotive Applications, 11.-12. September 2018
- David Augustin, Marius Hofmann (Opel), Ulrich Konigorski (TU Darmstadt), „Motion Pattern Recognition for Maneuver Detection and Trajectory Prediction on Highways“, IEEE ICVES, 12.-14. September 2018
- Alexander Frey, „Müdigkeit in einer automatisierten Realfahrt“, Doktorandenworkshop 2018 der DGPs (Fachgruppe Verkehrspsychologie), 25.-27. September 2018
- Jonas Radlmayr et al. (LfE), „Peripheral Monitoring of Traffic in Conditionally Automated Driving“, HFES 2018, 1.-5. Oktober 2018
- Jonas Radlmayr, Anna Feldhütter, Klaus Bengler (LfE), Alexander Frey (BASt), Oliver Jarosch (BMW), Claus Marberger (Bosch), Frederik Naujoks (IZVW), Veronika Weinbeer (Audi), „Drowsiness and fatigue in conditionally automated driving – Towards an integrative framework“, HFES Europe 2018, 8.-10. Oktober 2018
- Frauke Berghöfer, Christian Purucker, Frederik Naujoks, Katharina Wiedemann (IZVW), Claus Marberger (Bosch), „Individual Factors to Predict Take-Over Time in Highly Automated Driving“, HFES Europe 2018, 8.-10. Oktober 2018
- Bernhard Wandtner, Gerald Schmidt (Opel), Nadja Schömig (WIVW), „Secondary task engagement and disengagement in the context of highly automated driving“, Journal „Transportation Research Part F“, Oktober 2018
- Dennis Befelein, Juliane Boschet, Alexandra Neukum (WIVW), „Influence of non-driving-related tasks' motivational aspects and interruption effort on driver take-over performance in conditionally automated driving“, DDI 2018, Göteborg, 15.-17. Oktober 2018



- Florian Jomrich, Steffen Knapp (Opel), Josef Schmid, Alfred Höß (OTH-AW), Ralf Steinmetz (TU Darmstadt), Björn Schuller (Universität Passau), „Analysing the communication requirements for updating and providing fleet supported back end HD-Map data needed for highly automated driving“, IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), 5.-7. Dezember 2018
- Oliver Jarosch (BMW), Hanna Bellem (Bosch), Klaus Bengler (TUM LfE), „Effects of Task-Induced Fatigue in Prolonged Conditional Automated Driving“, Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, Oktober 2018
- Oliver Jarosch, Christian Gold, Frederik Naujoks (BMW), Bernhard Wandtner (Opel), Claus Marberger (Bosch), Galia Weidl, Michael Schrauf (Daimler), „The Impact of Non-Driving Related Tasks on Take-over Performance in Conditionally Automated Driving – A Review of the Empirical Evidence“, Transportation Research Journal - Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Oktober 2018

## 2019

- Josef Schmid, Alfred Höß (OTH-AW), „Kommunikation zwischen Fahrzeug und Server für kooperatives hochautomatisiertes Fahren im Projekt Ko-HAF“, Fachzeitschrift Application-Oriented Higher Education Research, China, 02/2019

## 6.2 Dissertationen

Zu Themen des Ko-HAF Projekts werden bzw. wurden diverse, zum Zeitpunkt der Verfassung dieses Berichts bereits weitgehend abgeschlossene Doktorarbeiten an Universitäten, Hochschule und Industriebetrieben durchgeführt. Diese Arbeiten konstituieren einen ansehnlichen Beitrag zur Förderung des technisch-wissenschaftlichen Nachwuchses; darüber hinaus werden mit den zugeordneten, öffentlich verfügbaren Dissertationen, die in Ko-HAF entwickelten Ergebnisse und Methoden in besonderer Tiefe und Ausführlichkeit dargestellt.

## 6.3 Pressearbeit

Zum Projektstart, zur Zwischenpräsentation und zur Abschlusspräsentation wurden mit den Presseverantwortlichen aller Projektpartner abgestimmte Pressemitteilungen erstellt. Diese Meldungen wurden sowohl bei den Veranstaltungen vor Ort an anwesende Pressevertreter verteilt als auch im Nachgang über einen projekteigenen Verteiler sowie über die Pressestellen der einzelnen Projektpartner publiziert.

Zur Zwischen- und Abschlusspräsentation wurden die Pressevertreter zusätzlich mit freigegebenen Fotos sowie pdf-Versionen aller Vorträge versorgt. Im Rahmen der Abschlusspräsentation wurde weiterhin ein Pressegespräch organisiert, zu dem der Projektkoordinator und von den Pressevertretern gewünschte weitere Experten aus dem Projektteam für Fragen zur Verfügung standen.

Neben den Pressemitteilungen wurde eine Kurzdarstellung des Projekts Ko-HAF für das BMWi-Magazin „Schlaglichter der Wirtschaftspolitik“ sowie für die BMWi-Broschüre zum Fachprogramm „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ erstellt und mit dem Projektträger, dem Koordinator und den AP-Leitern abgestimmt.

## 6.4 Internetauftritt

Unter [www.ko-haf.de](http://www.ko-haf.de) wurde die Projekthomepage online gestellt. Diese informiert unter anderem über die Projektpartner, die Schwerpunkte der Forschungsarbeiten und die Ergebnisse. Die Webseite wird bis auf weiteres von ZENTEC weiterbetrieben, sodass auch zukünftig auf die Ergebnisse zugegriffen und referenziert werden kann.



Abbildung 246: Projekthomepage Ko-HAF.

## 6.5 Projektvideos

Insgesamt wurden mit Unterstützung durch eine Agentur im Projektverlauf folgende zehn Videos zu verschiedenen Arbeitsschwerpunkten erstellt und über den projekteigenen YouTube-Kanal ([www.ko-haf.de/youtube](http://www.ko-haf.de/youtube)) veröffentlicht:

- Projektüberblick (projektübergreifend; inkl. 3D-Animation; Lang- und Kurzversion sowie Version mit englischem Untertitel)
- Messkampagne auf der öffentlichen Teststrecke (AP1 und AP2)
- Zwischenpräsentation (projektübergreifend)
- Wizard-of-Oz-Konzept (AP3)
- Simulatorstudien zur Übernahme (AP3)
- Funktionsentwicklung (AP4)
- Simulatorstudie zum Systemvertrauen (AP3)
- Funktionsentwicklung und Absicherung (AP4 und AP5)
- Abschlusspräsentation (projektübergreifend)
- TOC-Rating Method (AP3; in englischer Sprache wg. internationaler Verwendung, u.a. im Rahmen der Standardisierung)

**Ko-HAF** 28 Abonnenten ABONNIEREN

ÜBERSICHT **VIDEOS** PLAYLISTS KANÄLE DISKUSSION KANALINFO 🔍

Uploads ALLE WIEDERGEHEN ☰ SORTIEREN NACH














 <p><b>Demovideo TOC-Rating Method</b> 90 Aufrufe · vor 9 Monaten</p>	 <p><b>Abschlusspräsentation Projekt Ko-HAF 2018</b> 659 Aufrufe · vor 9 Monaten</p>	 <p><b>Ko-HAF Funktionsentwicklung und...</b> 288 Aufrufe · vor 1 Jahr</p>	 <p><b>Ko-HAF Overview</b> 258 Aufrufe · vor 1 Jahr</p>	 <p><b>Ko-HAF - Simulatorstudie zum Systemvertrauen</b> 239 Aufrufe · vor 1 Jahr</p>	 <p><b>Ko-HAF Funktionsentwicklung</b> 192 Aufrufe · vor 1 Jahr</p>
 <p><b>Ko-HAF - Simulatorstudien zur Übernahme</b> 375 Aufrufe · vor 1 Jahr</p>	 <p><b>Ko-HAF - Wizard-of-Oz-Konzept</b> 307 Aufrufe · vor 1 Jahr</p>	 <p><b>Zwischenpräsentation Projekt Ko-HAF 2017</b> 497 Aufrufe · vor 2 Jahren</p>	 <p><b>Ko-HAF Messkampagne 1</b> 712 Aufrufe · vor 2 Jahren</p>	 <p><b>Ko-HAF Animation (HD)</b> 411 Aufrufe · vor 2 Jahren</p>	 <p><b>Ko-HAF Projektvideo (HD)</b> 628 Aufrufe · vor 2 Jahren</p>
 <p><b>Ko-HAF Projektvideo Kurzversion (HD)</b> 204 Aufrufe · vor 2 Jahren</p>					

Abbildung 247: Übersichtseite des YouTube-Kanals von Ko-HAF ([www.ko-haf.de/youtube](http://www.ko-haf.de/youtube)).

# Anhang

## Referenzen für die Recherche für den Katalog fahrfremder Tätigkeiten

- [1] Stutts, J. C., & Association, A. A. (2001). The role of driver distraction in traffic crashes: AAA Foundation for Traffic Safety Washington, DC.
- [2] Gordon, C. (2005). Driver distraction: An initial examination of the 'attention diverted by' contributory factor codes from crash reports and focus group research on perceived risks. Zuletzt geprüft am, 10, 2011.
- [3] Glaze, A. L., & Ellis, J. M. (2003). Pilot study of distracted drivers. Virginia Commonwealth University Center for Public Policy.
- [4] Huemer, A. K., & Vollrath, M. (2012). Ablenkung durch fahrfremde Tätigkeiten-Machbarkeitsstudie. Berichte der Bundesanstalt fuer Strassenwesen. Unterreihe Mensch und Sicherheit (225).
- [5] Schoemig, N., Schoch, S., Neukum, A., Schumacher, M., & Wandtner, B. (2015). Simulatorstudien zur Ablenkungswirkung fahrfremder Tätigkeiten. Berichte der Bundesanstalt fuer Strassenwesen. Unterreihe Mensch und Sicherheit (253).
- [6] Klauer, S. G., Dingus, T. A., Neale, V. L., Sudweeks, J. D., & Ramsey, D. J. (2006). The impact of driver inattention on near-crash/crash risk: An analysis using the 100-car naturalistic driving study data.
- [7] Olson, R. L., Hanowski, R. J., Hickman, J. S., & Bocanegra, J. L. (2009). Driver distraction in commercial vehicle operations (FMCSA-RRR-09-042). Retrieved from <https://www.fmcsa.dot.gov/sites/fmcsa.dot.gov/files/docs/FMCSA-RRR-09-042.pdf>
- [8] NHTSA. (2012). Visual-manual NHTSA driver distraction guidelines for in-vehicle electronic devices. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Department of Transportation (DOT).
- [9] Spiessl, W., & Hussmann, H. (2011). Assessing error recognition in automated driving. Intelligent Transport Systems, IET, 5 (2), 103-111.
- [10] Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. Attention and performance VIII, 8.
- [11] May, J. F., & Baldwin, C. L. (2009). Driver fatigue: The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 12 (3), 218-224.
- [12] Schömig, N., Hargutt, V., Neukum, A., Petermann-Stock, I., & Othersen, I. (2015). The interaction between highly automated driving and the development of drowsiness. Paper presented at the 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015, Las Vegas.
- [13] Barr, L. C., Yang, C., Hanowski, R. J., & Olson, R. (2011). An assessment of driver drowsiness, distraction, and performance in a naturalistic setting (FMCSA-RRR-11-010). Retrieved from <http://ntl.bts.gov/lib/51000/51200/51252/11-010-RP-Distraction-and-Performance.pdf>
- [14] Pal, N. R., Chuang, C.-Y., Ko, L.-W., Chao, C.-F., Jung, T.-P., Liang, S.-F., & Lin, C.-T. (2008). EEG-based subject-and session-independent drowsiness detection: an unsupervised approach. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2008, 192.
- [15] Kroes, S. (2005). Detecting Boredom in Meetings. Retrieved from <http://hmi.ewi.utwente.nl/verslagen/capita-selecta/CS-Kroes-Stefan.pdf>
- [16] Åkerstedt, T., & Gillberg, M. (1990). Subjective and objective sleepiness in the active individual. International Journal of Neuroscience, 52 (1-2), 29-37.
- [17] Csikszentmihalyi, M. (1990). Flow: The psychology of optimal performance. NY: Cambridge University Press.
- [18] Ekman, P., & Friesen, W. V. (1977). Facial action coding system.
- [19] Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales. Journal of personality and social psychology, 54 (6), 1063.
- [20] Jackson, S. A., & Marsh, H. W. (1996). Development and validation of a scale to measure optimal experience: The Flow State Scale. Journal of sport and exercise psychology, 18, 17-35.
- [21] Mackworth, N. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1 (1), 6-21.
- [22] Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., & Yiend, J. (1997). Oops!': performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. Neuropsychologia, 35 (6), 747-758.
- [23] Lim, J., & Dinges, D. F. (2008). Sleep deprivation and vigilant attention. Annals of the New York Academy of Sciences, 1129 (1), 305-322.
- [24] Oken, B. S., Saininsky, M. C., & Elsas, S. (2006). Vigilance, alertness, or sustained attention: physiological basis and measurement. Clinical Neurophysiology, 117 (9), 1885-1901.
- [25] O'Donnell, R. D., & Eggemeier, F. T. (1986). Workload assessment methodology.
- [26] De Waard, D., & Studiecentrum, V. (1996). The measurement of drivers' mental workload: Groningen University, Traffic Research Center Netherlands.
- [27] Martens, M., & Van Winsum, W. (2000). Measuring distraction: the peripheral detection task. TNO Human Factors, Soesterberg, Netherlands.
- [28] Boles, D. B., & Adair, L. P. (2001). The multiple resources questionnaire (MRQ). Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- [29] Pauzié, A. (2008). A method to assess the driver mental workload: the driving activity load index (DALI). Intelligent Transport Systems, IET, 2 (4), 315-322.
- [30] Pauzié, A. (2008). Evaluating driver mental workload using the driving activity load index (DALI). Paper presented at the Proc. of European Conference on Human Interface Design for Intelligent Transport Systems.
- [31] Baddeley, A. (1992). Working memory. Science, 255 (5044), 556-559.
- [32] Kahneman, D. (1973). Attention and effort. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- [33] Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. Psychological bulletin, 116 (2), 220.
- [34] May, J. G., Kennedy, R. S., Williams, M. C., Dunlap, W. P., & Brannan, J. R. (1990). Eye movement indices of mental workload. Acta psychologica, 75 (1), 75-89.
- [35] Wilson, G. F., & Eggemeier, F. T. (1991). Psychophysiological assessment of workload in multi-task environments. Multiple-task performance, 329-360.
- [36] Kramer, A. F. (1991). Physiological metrics of mental workload: A review of recent progress. Multiple-task performance, 279-328.
- [37] Porges, S. W., & Byrne, E. A. (1992). Research methods for measurement of heart rate and respiration. Biological psychology, 34 (2-3), 93-130.

- [38] Knowles, W. (1963). Operator loading tasks. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 5 (2), 155-161.
- [39] Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology*, 52, 139-183.
- [40] Wittmann, M., Kiss, M., Gugg, P., Steffen, A., Fink, M., Pöppel, E., & Kamiya, H. (2006). Effects of display position of a visual in-vehicle task on simulated driving. *Applied Ergonomics*, 37 (2), 187-199.
- [41] Burnett, G. (2004). An evaluation of different positions for an in-vehicle navigation display. Paper presented at the Proceedings of the International Conference of Traffic and Transport Psychology.
- [42] Tretten, P., Normark, C. J., & Gärling, A. (2009). Warnings and placement positions in automobiles. Paper presented at the Proceedings of the 17th Triennial Congress of the International Ergonomics Association.
- [43] Mehler, B., Reimer, B., Dobres, J., & Coughlin, J. F. (2015). Phase II Experiment 3-2015 Toyota Corolla (2015b). Ann Arbor, 1001, 48105.
- [44] Mehler, B., Reimer, B., McAnulty, H., Dobres, J., Lee, J., & Coughlin, J. F. (2015). Phase II Experiment 2-2014 Mercedes CLA (2014t). Ann Arbor, 1001, 48105.
- [45] Metz, B. (2009). Worauf achtet der Fahrer?, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- [46] Dingus, T. A., Hulse, M. C., Antin, J. F., & Wierwille, W. W. (1989). Attentional demand requirements of an automobile moving-map navigation system. *Transportation Research Part A: General*, 23 (4), 301-315.
- [47] Schneegaß, S., Pflöging, B., Kern, D., & Schmidt, A. (2011). Support for modeling interaction with automotive user interfaces. Paper presented at the Proceedings of the 3rd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications.
- [48] Pettitt, M., Burnett, G., & Karbassioun, D. (2006). Applying the keystroke level model in a driving context. Paper presented at the Contemporary Ergonomics: Proc. Ergonomics Society Annual Conference.
- [49] Purucker, C., Naujoks, F., Prill, A., & Neukum, A. (2016). Evaluating distraction of in-vehicle information systems while driving by predicting total eyes-off-road times with keystroke level modeling. *Applied Ergonomics*.
- [50] Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary educational psychology*, 25 (1), 54-67.
- [51] Deci, E. L. (1971). Effects of externally mediated rewards on intrinsic motivation. *Journal of personality and Social Psychology*, 18 (1), 105.
- [52] Ryan, R. M. (1982). Control and information in the intrapersonal sphere: An extension of cognitive evaluation theory. *Journal of personality and Social Psychology*, 43 (3), 450.
- [53] Harackiewicz, J. M. (1979). The effects of reward contingency and performance feedback on intrinsic motivation. *Journal of personality and Social Psychology*, 37 (8), 1352.
- [54] Jamson, A. H., Merat, N., Carsten, O. M., & Lai, F. C. (2013). Behavioural changes in drivers experiencing highly-automated vehicle control in varying traffic conditions. *Transportation research part C: emerging technologies*, 30, 116-125.
- [55] Toffetti, A., Wilschut, E., Martens, M., Schieben, A., Rambaldini, A., Merat, N., & Flemisch, F. (2009). CityMobil: Human factor issues regarding highly automated vehicles on eLane. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (2110), 1-8.
- [56] Flemisch, F., & Schieben, A. (2010). Highly automated vehicles for intelligent transport: Validation of preliminary design of HAVEit systems by simulator tests. Deliverable to the EU-commission D, 33, 3.
- [57] Carsten, O., Lai, F., Barnard, A., Merat, N., & Jamson, A. (2012). Control task substitution in semi-automated driving: does it matter what aspects are automated? *Human factors*, 54 (5), 747-761.
- [58] Llaneras, R. E., Salinger, J., & Green, C. A. (2013). Human factors issues associated with limited ability autonomous driving systems: Drivers' allocation of visual attention to the forward roadway. Paper presented at the Proceedings of the 7th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design.
- [59] Helldin, T., Falkman, G., Riveiro, M., & Davidsson, S. (2013). Presenting system uncertainty in automotive UIs for supporting trust calibration in autonomous driving. Paper presented at the Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications.
- [60] Dogan, E., Deborne, R., Delhomme, P., Kemeny, A., & Jonville, P. (2014). Evaluating the shift of control between driver and vehicle at high automation at low speed: The role of anticipation. Paper presented at the Transport Research Arena (TRA) 5th Conference: Transport Solutions from Research to Deployment.
- [61] Louw, T., Kountouriotis, G., Carsten, O., & Merat, N. (2015). Driver Inattention During Vehicle Automation: How Does Driver Engagement Affect Resumption Of Control?
- [62] Melcher, V., Rauh, S., Diederichs, F., Widloirther, H., & Bauer, W. (2015). Take-Over Requests for automated driving. Paper presented at the 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015, Las Vegas.
- [63] Naujoks, F., Mai, C., & Neukum, A. (2014). The effect of urgency of take-over requests during highly automated driving under distraction conditions. *Advances in Human Aspects of Transportation: Part I*, 7, 431.
- [64] Schwalk, M., Kalogerakis, N., & Maier, T. (2015). Driver support by a vibrotactile seat matrix—Recognition, adequacy and workload of tactile patterns in take-over scenarios during automated driving. *Procedia Manufacturing*, 3, 2466-2473.
- [65] Diederichs, F., Bischoff, S., Widloirther, H., Reilhac, P., Hottelart, K., & Moizard, J. (2015). Smartphone integration and SAE level 3 car automation: a new cockpit concept and its evaluation in a car simulator. (Vol. 2264). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- [66] Naujoks, F., Purucker, C., & Neukum, A. (2016). Secondary task engagement and vehicle automation—Comparing the effects of different automation levels in an on-road experiment. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 38, 67-82.
- [67] Tijerina, L., Johnston, S., Parmer, E., Pham, H., Winterbottom, M., & Barickman, F. (2000). Preliminary studies in haptic displays for rear-end collision avoidance system and adaptive cruise control applications. Washington, DC: National Highway Transportation Safety Administration.
- [68] Petermann-Stock, I., Hackenberg, L., Muhr, T., & Mergl, C. (2013). Wie lange braucht der Fahrer—eine Analyse zu Übernahmezeiten aus verschiedenen Nebentätigkeiten während einer hochautomatisierten Staufahrt. Paper presented at the 6. Tagung Fahrerassistenzsysteme. Der Weg zum automatischen Fahren.
- [69] Neubauer, C., Matthews, G., & Saxby, D. (2014). Fatigue in the Automated Vehicle Do Games and Conversation Distract or Energize the Driver? Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- [70] Rudin-Brown, C. M., & Parker, H. A. (2004). Behavioural adaptation to adaptive cruise control (ACC): implications for preventive strategies. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 7 (2), 59-76.
- [71] Louw, T., Merat, N., & Jamson, H. (2015). Engaging with highly automated driving: To be or not to be in the loop? Paper presented at the 8th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Salt Lake City, Utah, USA.

- [72] Seppelt, B. D., Lees, M. N., & Lee, J. D. (2005). Driver distraction and reliance: Adaptive cruise control in the context of sensor reliability and algorithm limits. Paper presented at the Proceedings of the third international driving symposium on human factors in driver assessment, training and vehicle design.
- [73] van den Beukel, A. P., & van der Voort, M. C. (2013). The influence of time-criticality on Situation Awareness when retrieving human control after automated driving. Paper presented at the Intelligent Transportation Systems-(ITSC), 2013 16th International IEEE Conference on.
- [74] Politis, I., Brewster, S., & Pollick, F. (2015). Language-based multimodal displays for the handover of control in autonomous cars.
- [75] Blommer, M., Curry, R., Kochhar, D., Swaminathan, R., Talamonti, W., & Tijerina, L. (2015). The Effects of a Scheduled Driver Engagement Strategy in Automated Driving. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- [76] Ma, R., & Kaber, D. B. (2005). Situation awareness and workload in driving while using adaptive cruise control and a cell phone. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35 (10), 939-953.
- [77] Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2015). What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 78, 212-221.
- [78] Jamson, H., Merat, N., Carsten, O., & Lai, F. (2011). Fully-Automated Driving: The Road to Future Vehicles. Paper presented at the Proc. of Sixth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design.
- [79] Mok, B., Johns, M., Lee, K. J., Miller, D., Sirkin, D., Ive, P., & Ju, W. (2015). Emergency, Automation Off: Unstructured Transition Timing for Distracted Drivers of Automated Vehicles. Paper presented at the 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC).
- [80] Walch, M., Lange, K., Baumann, M., & Weber, M. (2015). Autonomous driving: investigating the feasibility of car-driver hand-over assistance. Paper presented at the Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications.
- [81] Omae, M., Hashimoto, N., Sugamoto, T., & Shimizu, H. (2005). Measurement of Driver's Reaction Time to Failure of Steering Controller during Automatic Driving. *Review of automotive engineering*, 26 (2), 213-215.
- [82] Schaller, T., Schiehlen, J., & Gradenegger, B. (2008). Stauassistentz–Unterstützung des Fahrers in der Quer-und Längsführung: Systementwicklung und Kundenakzeptanz. Paper presented at the 3. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz.
- [83] Damböck, D., Farid, M., Tönert, L., & Bengler, K. (2012). Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren. Tagungsband der VDI-Tagung Fahrerassistenz in München, 15, 16ff.
- [84] Beggiano, M., & Krems, J. F. (2013). The evolution of mental model, trust and acceptance of adaptive cruise control in relation to initial information. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 18, 47-57.
- [85] Vollrath, M., Schleicher, S., & Gelau, C. (2011). The influence of Cruise Control and Adaptive Cruise Control on driving behaviour—A driving simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 43 (3), 1134-1139.
- [86] Stockert, S., Richardson, N. T., & Lienkamp, M. (2015). Driving in an Increasingly Automated World—Approaches to Improve the Driver-automation Interaction. *Procedia Manufacturing*, 3, 2889-2896.
- [87] Gold, C., Lorenz, L., Damböck, D., & Bengler, K. (2013). Partially Automated Driving as a Fallback Level of High Automation. 6. Paper presented at the Tagung Fahrerassistenzsysteme. Der Weg zum automatischen Fahren.
- [88] Lorenz, L., & Hergeth, S. (2015). Einfluss der Nebenaufgabe auf die Überwachungsleistung beim teilautomatisierten Fahren. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- [89] Lorenz, L., Kerschbaum, P., & Schumann, J. (2014). Designing take over scenarios for automated driving: How does augmented reality support the driver to get back into the loop? Paper presented at the Human Factors and Ergonomics Society 58th Annual Meeting - 2014.
- [90] Kerschbaum, P., Lorenz, L., & Bengler, K. (2014). Highly automated driving with a decoupled steering wheel. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- [91] Beller, J., Heesen, M., & Vollrath, M. (2013). Improving the driver-automation interaction an approach using automation uncertainty. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 55 (6), 1130-1141.
- [92] Hergeth, S., Lorenz, L., Krems, J. F., & Toenert, L. (2015). Effects of Take-Over Requests and Cultural Background on Automation Trust in Highly Automated Driving. Paper presented at the 8th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design.
- [93] Körber, M., Weißgerber, T., Kalb, L., Blaschke, C., & Farid, M. (2015). Prediction of take-over time in highly automated driving by two psychometric tests. *Dyna*, 82 (193), 195-201.
- [94] Radlmayr, J., Gold, C., Lorenz, L., Farid, M., & Bengler, K. (2014). How traffic situations and non-driving related tasks affect the take-over quality in highly automated driving. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- [95] Merat, N., Jamson, A. H., Lai, F. C., & Carsten, O. (2012). Highly automated driving, secondary task performance, and driver state. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54 (5), 762-771.
- [96] Gold, C., Körber, M., Hohenberger, C., Lechner, D., & Bengler, K. (2015). Trust in automation – Before and after the experience of take-over scenarios in a highly automated vehicle. Paper presented at the 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015, Las Vegas.
- [97] Lin, T.-W., Hwang, S.-L., & Green, P. A. (2009). Effects of time-gap settings of adaptive cruise control (ACC) on driving performance and subjective acceptance in a bus driving simulator. *Safety science*, 47 (5), 620-625.
- [98] Lee, J., McGehee, D., Brown, T., & Marshall, D. (2006). Effects of adaptive cruise control and alert modality on driver performance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (1980), 49-56.
- [99] Petermeijer, S. M., Abbink, D. A., & de Winter, J. C. (2015). Should drivers be operating within an automation-free bandwidth? Evaluating haptic steering support systems with different levels of authority. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 57 (1), 5-20.
- [100] Stanton, N. A., Young, M., & McCaulder, B. (1997). Drive-by-wire: the case of driver workload and reclaiming control with adaptive cruise control. *Safety science*, 27 (2), 149-159.
- [101] Ho, A. W., & Cummings, M. L. (2005). Multiple Alarms and Driving Situational Awareness. Retrieved from <http://18.7.29.232/handle/1721.1/46724>
- [102] Beggiano, M., Hartwich, F., Schleinitz, K., Krems, J., Othersen, I., & Petermann-Stock, I. (2015). What would drivers like to know during automated driving? Information needs at different levels of automation. Paper presented at the 7th conference on driver assistance, Munich.
- [103] Körber, M., Cingel, A., Zimmermann, M., & Bengler, K. (2015). Vigilance Decrement and Passive Fatigue Caused by Monotony in Automated Driving. *Procedia Manufacturing*, 3, 2403-2409.