



## Ko-HAF – Kooperatives, hochautomatisiertes Fahren

---

# Schlussbericht

Förderempfänger	AUDI AG
Förderkennzeichen	19 S 14002 B
Laufzeit des Vorhabens	01.06.2015 bis 30.11.2018

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung .....	9
2	Projektidee, Zielsetzungen, Aufgabenstellung.....	11
	Umfelderfassung und -repräsentation durch Kooperation Fahrzeug – Backend .....	12
	Funktionsentwicklung für hochautomatisiertes Fahren .....	13
	Einbindung des Fahrers – kooperative Fahrzeugführung .....	13
3	Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse.....	15
3.1	AP1 Umfelderfassung und -repräsentation im Backend (Safety Server) .....	15
3.1.1	UAP1.2 Kommunikation zwischen Backend und Frontend.....	15
3.2	AP2 Fahrzeuglokalisierung und statisches Umfeld.....	16
3.2.1	UAP2.1 Gewinnung und Kommunikation von Backend Daten .....	17
3.2.2	UAP2.2 Fahrzeuglokalisierung.....	18
3.2.3	UAP2.3 Statisches Umfeldmodell, Kartenbewertung und Georeferenzierung der Backend-Daten im Fahrzeug .....	19
3.3	AP3 Kooperative Fahrzeugführung und kontrollierbare Automation .....	21
3.3.1	UAP3.1 Spezifikationen der Prüfscenarien und Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion.....	22
3.3.2	UAP3.2 Untersuchung von Automationseffekten und Implementierung eines Moduls Fahrerverfügbarkeit und Vigilanz.....	22
3.3.3	UAP3.3 Integration der Transitionskonzepte für HAF und deren Bewertung ....	44
3.3.4	UAP3.4 Empfehlungen zu Methoden und Interaktionskonzepten.....	45
3.4	AP4 Funktionsentwicklung für Normal- und Notbetrieb .....	45
3.4.1	UAP4.1 Kooperative Umfeldmodellierung im Fahrzeug (Objekt-/Gridfusion), Situationsanalyse und –bewertung .....	45
3.4.2	UAP4.2 Normalfunktionen.....	47
3.4.3	UAP4.3 Gefahrenstellen .....	56
3.4.4	UAP4.4 Fahrzeug und sicherer Betrieb.....	56
UAP4.4.1	Fahrzeugaufbau .....	57
UAP4.4.2	Kooperative Maßnahmen hochautomatisierter Fahrzeuge auf Serverdaten .....	59
UAP4.4.3	Sicherheitskonzept für den Versuchsbetrieb auf öffentlichen Straßen .....	60
UAP4.4.4	Maßnahmen zum Notbetrieb im eigenen Fahrzeug .....	63
3.5	AP5 Absicherung .....	66
3.5.1	UAP5.1 Methodik.....	66
3.6	Literaturverzeichnis.....	71

4	Ergebnisverbreitung.....	73
4.1	Konferenzbeiträge und Publikationen.....	73
4.2	Dissertationen.....	73
5	Planung und Ablauf des Projektes .....	74
6	Änderungen in der Zielsetzung .....	75

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Erprobungsfahrzeuge der Ko-HAF Partner bei der Generalprobe zur Abschlusspräsentation .....	10
Abbildung 2:	Ko-HAF Ausgangssituation und Vision: Unfallfreies hochautomatisiertes Fahren <sup>11</sup>	
Abbildung 3:	Bidirektionaler Datenaustausch zwischen Backend (Safety-Server) und Frontend (Fahrzeug) .....	15
Abbildung 4:	Voraggregierte Übermittlung von Umfeldinformationen durch ein Audi-Versuchsfahrzeug. Hierbei werden mehrere Landmarken-Observationen zu jeweils 50 Meter langen Teilkacheln zusammengefasst. ....	16
Abbildung 5:	Übersicht der Unterarbeitspakete im AP2 und ihre Schnittstellen zum AP1 und AP4.....	16
Abbildung 6:	Das im Rahmen der Ko-HAF Abschlusspräsentation von Audi und BMW gemeinsam gezeigte Skibox-Szenario aus Vogelperspektive (Abbildung links). Hierbei wird das nachfolgende Fahrzeug (BMW) durch das Vorderfahrzeug (Audi) hinsichtlich der auf der Fahrbahn liegenden Skibox gewarnt. Die Gefahrenstelle wird im Rahmen der Trajektorienplanung der HAF-Funktion vorausschauend berücksichtigt (Abbildung rechts). ....	17
Abbildung 7:	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, durch einen Audi-Versuchsträger zeigt.....	18
Abbildung 8:	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 durch einen Audi-Versuchsträger zeigt. ....	18
Abbildung 9:	Übersicht über das partnerübergreifend abgestimmte statische Fusionskonzept von sensorischer Wahrnehmung und a priori Kartendaten.....	19
Abbildung 10:	Partnerübergreifende Sammlung möglicher Kartenfehler (linkes Bild). Partnerübergreifendes Clustering und Priorisierung, der für hochautomatisierte Fahrfunktionen relevanten Kartenfehler. ....	20
Abbildung 11:	Beispielhaft durch Audi identifizierte Kartenfehler. Fehlender Leitpfosten (linkes Bild oben). Inkorrekt attributierte Fahrstreifenmarkierungen (rechtes Bild oben). ....	21

Abbildung 12:	Beispiel von der Langen Geraden in Dudenhofen für den von Audi durchgeführten Bündelausgleich (grün) von statischen punkt- und linienförmigen Merkmalen aus der on-board Wahrnehmung (blau) und der digitalen Karte (rot). Links vom Videobild sind exemplarisch die Ausgaben des eingesetzten Bündeloptimierungsverfahrens abgebildet.....	21
Abbildung 13:	Wachheits- und Schlafdrang (Johns, 1998) .....	23
Abbildung 14:	Drowsiness Management Concept (DMC).....	25
Abbildung 15:	Wizard-of-Oz-Ansatz (Rechtslenker zur Simulation einer L3-Fahrt)....	26
Abbildung 16:	Teststrecke Studie A .....	30
Abbildung 17:	Schläfrigkeitsentwicklung „schläfrig“ .....	31
Abbildung 18:	Schläfrigkeitsentwicklung „wach“ .....	31
Abbildung 19:	Hands-on und Driver-intervention time (Group A).....	33
Abbildung 20:	Versuchsfahrzeug Studie B .....	34
Abbildung 21:	Versuchsdesign und Befragungszeitpunkte.....	36
Abbildung 22:	Teststrecke Studie B .....	37
Abbildung 23:	KSS-Bewertung nach KSS 4 und KSS 5 .....	38
Abbildung 24:	Kombiinstrument in AUDI Q7 Rechtslenker .....	39
Abbildung 25:	Zahlenschlossaufgabe.....	39
Abbildung 26:	Management von DMS-Unsicherheitsperioden .....	40
Abbildung 27:	Konzepte Studie C .....	40
Abbildung 28:	Versuchsdesign Studie C .....	41
Abbildung 29:	Teststrecke Studie C .....	42
Abbildung 30:	<i>„Ich möchte kontinuierlich darüber informiert werden, wann eine Fahrerbeobachtungskamera aktiv ist.“ .....</i>	43
Abbildung 31:	Welches Konzept sagte Ihnen am meisten zu? - Platz 1 .....	43
Abbildung 32:	Ergebnisüberblick.....	44
Abbildung 33:	Pilot aktiv.....	45
Abbildung 34:	Sensorset für die Erkennung und Verfolgung dynamischer Objekte rund um das Ego-Fahrzeug, die Erkennung der Fahrstreifen auf der Autobahn und der Auf- und Abfahrt und für die Befüllung einer Belegungskarte zur Akkumulation von Randbegrenzungsverläufen und Hindernissen. ....	47

Abbildung 35:	Funktionale Architektur der Ko-HAF-Fahrfunktion .....	48
Abbildung 36:	Schematische Darstellung des Zustandsautomaten .....	50
Abbildung 37:	Ziele und Parameter aus der Taktik an die Trajektorienplanung .....	51
Abbildung 38:	Bestimmung der Manöverkosten .....	52
Abbildung 39:	Bestimmung der Manöverfreigabe .....	53
Abbildung 40:	Auswahl des Manövers in der Manöversteuerung .....	53
Abbildung 41:	HMI-Ansteuerung .....	54
Abbildung 42:	Abfolge „Auffahren auf die Autobahn“ .....	55
Abbildung 43:	Bild des Audi Erprobungsfahrzeugs .....	59
Abbildung 44:	Partnerspezifische Systemausprägungen .....	61
Abbildung 45:	Ko-HAF spezifische Randbedingungen partnerspezifisch umgesetzt .....	61
Abbildung 46:	Fehlerauslösungen und Rückfallebenen .....	65
Abbildung 47:	Unterschiedliche Definitionen von Szenarien .....	69
Abbildung 48:	5-Ebenen-Struktur zu Beschreibung von Szenarien .....	70
Abbildung 49:	Abstraktionsstufen von Szenarien .....	70

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Schläfrigkeitslevel und Indikatoren .....	28
Tabelle 2:	Versuchsdesign.....	29
Tabelle 3:	Zeit bis zum ersten Erreichen der Schläfrigkeitslevel 4 und 6 .....	32
Tabelle 4:	Karolinska-Sleepiness Scale (KSS).....	35
Tabelle 5:	Aufbaudokumentation des Audi-Erprobungsfahrzeugs (Ko-HAF_2) ...	58
Tabelle 6:	Ko-HAF Sicherheitskonzept für Erprobungsfahrzeuge .....	63
Tabelle 7:	Funktionsumsetzungen der einzelnen Partner.....	64
Tabelle 8:	Auffahren und Einfädeln: A – Auffahren .....	67
Tabelle 9:	Auffahren und Einfädeln: B – Einfädeln .....	67
Tabelle 10:	Abfahrautomation .....	68
Tabelle 11:	Zeitplan des Projekts Ko-HAF .....	74

# 1 Zusammenfassung

Das Verbundprojekt Ko-HAF – kooperatives hochautomatisiertes Fahren – hatte die Erhöhung von Sicherheit und Effizienz im Straßenverkehr durch kooperatives, hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen im Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 130 km/h zum Ziel. Hochautomatisierung ist dadurch charakterisiert, dass ein automatisiertes 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. Gemäß SAE (2018) spricht man auch von Level3-Systemen.

Die erste Generation des hochautomatisierten Fahrens (HAF) adressiert den niedrigsten und niedrigen Geschwindigkeitsbereich in einfachen Verkehrssituationen wie dem Autobahnstau auf Basis bordautonomer Sensorik. Die zweite, in Ko-HAF adressierte Generation widmet sich dem höheren Geschwindigkeitsbereich auf gut ausgebauter Verkehrsinfrastruktur z.B. Autobahnen, um eine Steigerung von Sicherheit, Verkehrseffizienz und Komfort zu erreichen. Dafür war gegenüber der ersten Generation ein deutlicher technischer Innovationshub erforderlich: Die Vorausschau für die Umfelderkennung musste drastisch erhöht werden. Dies erfolgte vor allem über eine aktuelle und hochgenaue digitale Karte. Erhöhte Vorausschau ist die Voraussetzung für automatische Fahrfunktionen und eine an die Fahrsituation angepasste Fahrerübernahmeaufforderung im HAF-Betrieb.

Zur Ausarbeitung des gesamten Spektrums der in Ko-HAF benötigten Disziplinen war eine übergreifende Zusammenarbeit notwendig. Es waren sowohl Qualifikationen seitens der Automobilindustrie (Hersteller sowie Zulieferer), von kleinen, mittelständischen Unternehmen sowie von Hochschul- und Forschungsinstituten notwendig. Neben der Zusammenarbeit in den einzelnen Teilprojekten wurde auch eine Vielzahl von gemeinsamen Erprobungen sowohl in den Teilprojekten als auch projektübergreifend durchgeführt.

Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Ko-HAF Erprobungsfahrzeuge und Teammitglieder der einzelnen Partner bei der Generalprobe (20.-22. August 2018) auf dem Opel-Prüfgelände in Dudenhofen zur Vorbereitung der Ko-HAF Abschlusspräsentation.

Die AUDI AG als Partner des Ko-HAF-Konsortiums lieferte dabei Beiträge zu den Themenkomplexen:

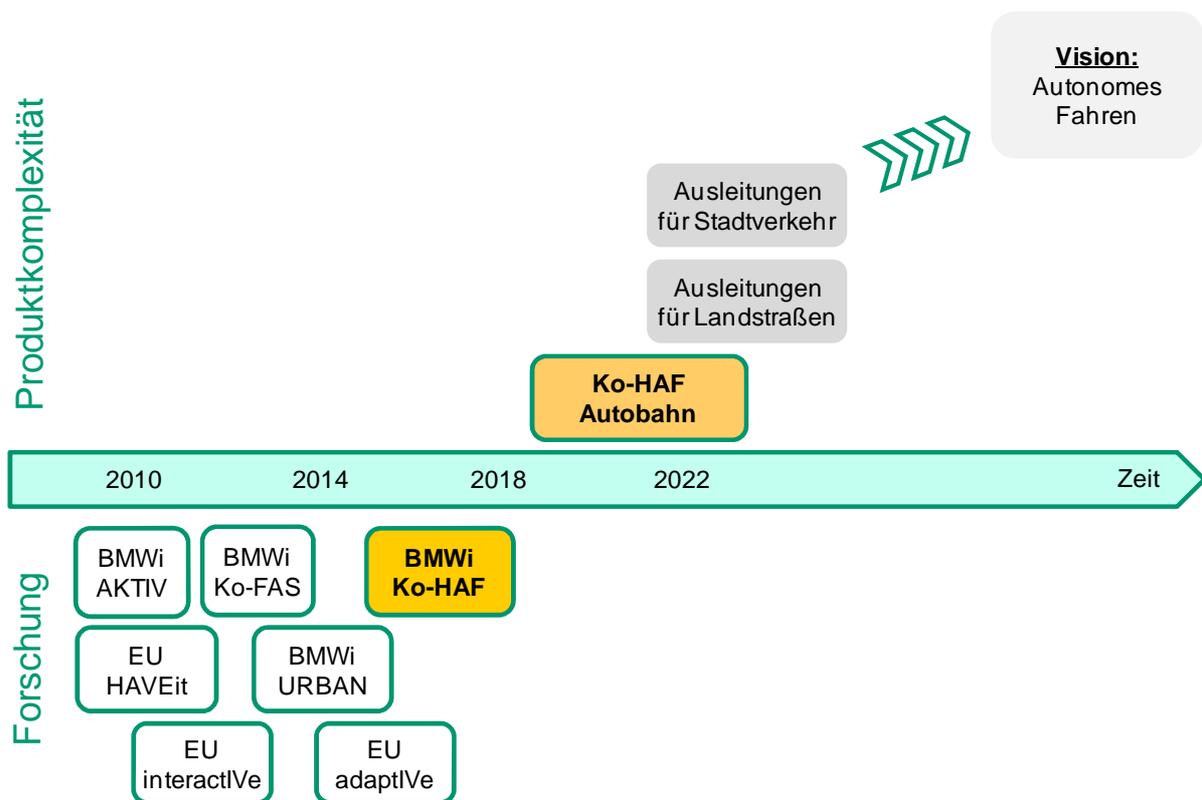
- Definition der Schnittstelle zwischen einem Server-Backend und einem Fahrzeug-Frontend
- Nutzung von digitalen Karten für hochautomatisierte Fahrfunktionen
- Untersuchung des Fahrers als Teil eines HAF-Systems
- Entwicklung von neuen HAF-Funktionen (Einfädeln)
- Methodik für das Testen von HAF-Funktionen



**Abbildung 1:** Erprobungsfahrzeuge der Ko-HAF Partner bei der Generalprobe zur Abschlusspräsentation

## 2 Projektidee, Zielsetzungen, Aufgabenstellung

Das Projekt Ko-HAF zielte auf den nächsten wesentlichen Schritt der Fahrzeugautomatisierung, das hochautomatisierte Fahren. Gleichzeitig sollten Sicherheit und Effizienz des Verkehrs auf unseren Straßen erhöht werden. Darüber hinaus lässt die Entlastung des Fahrers positive Impulse auf die Erhaltung der Mobilität erwarten. Zudem stellte die mit Ko-HAF anvisierte weltweite Technologieführerschaft auf dem Gebiet (hoch)automatisiertes Fahren zusammen mit den daraus resultierenden Wettbewerbsvorteilen ein wesentliches Ziel der Verbundpartner dar.



**Abbildung 2:** Ko-HAF Ausgangssituation und Vision: Unfallfreies hochautomatisiertes Fahren

Die Voraussetzungen zur Erreichung all dieser Ziele waren nicht zuletzt dank der Ergebnisse bisheriger öffentlich geförderter Projekte gut. Abbildung 2 verdeutlicht die Gesamtstrategie zur Erreichung der Vision von unfallfreiem, hochautomatisiertem Fahren.

In bisherigen Forschungsprojekten wurden Systeme zu Teilautomatisierung adressiert, bei denen der Fahrer das System kontinuierlich überwachen muss. Hochautomatisierte Systeme bieten demgegenüber einen deutlich höheren Kundennutzen, wobei der Kundennutzen mit zunehmender Out-of-the-Loop-Dauer und größerem Wirkungsfeld steigt.

Ko-HAF sollte deswegen die Grundlagen für hochautomatisiertes Fahren der zweiten Generation legen. Während Systeme der ersten Generation nur recht einfache Nutzfälle des teil-

und hochautomatisierten Fahrens adressieren, zielte Ko-HAF darauf ab, zusätzliche Sicherheit und zusätzlichen Komfort zu schaffen und so das Potenzial der Hochautomation voll auszuschöpfen. Dies umfasste Funktionserweiterungen, verbesserte Kontrollierbarkeit, eine adäquate Mensch-Maschine-Schnittstelle, die für Mode Awareness beim Fahrer sorgt, und für eine vorausschauende und sicherere Fahrweise. Letztere sollte durch eine kollektive Wahrnehmung erzielt werden. Die Kooperation erfolgte über eine Backend-Lösung auf Grundlage eines so genannten Safety Servers.

Die besonderen Herausforderungen für hochautomatisiertes Fahren bei höheren Geschwindigkeiten ergeben sich aus der höheren Vorausschaureichweite der Umfeldmodellierung, der Funktionsentwicklung für hochautomatisiertes Fahren und der Einbindung des Fahrers in das hochautomatisierte System unter der Rahmenbedingung längerer Übernahmezeiten.

### Umfelderfassung und -repräsentation durch Kooperation Fahrzeug – Backend

- *Backend und Safety Server:* Die Reichweite der Fahrzeugsensorik ist prinzipiell auf ihren Sichthorizont beschränkt. Abschattungen durch Kuppen, Häuser und andere Fahrzeuge verhindern hier eine weitere Vorausschau. Aus diesem Grund wurde die Umfelderfassung und -modellierung um den Schwerpunkt des Projekts, eine kollektive Wahrnehmung, erweitert. Sie wurde in Form einer Backend-Lösung mittels eines sogenannten Safety Servers umgesetzt.

Jeder Projektteilnehmer, der einen Versuchsträger aufbaute, hat die neu definierte Schnittstellen zum Server umgesetzt und Daten über Mobilfunk bereitgestellt, so dass im Server alle Daten zu einem Gesamtbild – der sogenannten lernenden 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 des Backends. Die Menge der über die Mobilfunkschnittstelle (LTE/UMTS) zu übertragenden Daten musste so gering wie möglich gehalten werden. Die im Hinblick auf die Schnittstelle zwischen den Fahrzeugen und dem Server gewonnenen Projektergebnisse wurden dem SENSORIS-Konsortium zur Standardisierung zur Verfügung gestellt und wurden im SENSORIS-Release V2 umgesetzt (Sensoris (2018)).

An die einzelnen Fahrzeuge wurden vom Backend Daten zurückgeliefert, die u.a. Fahrstreifen für hochautomatisiertes Fahren qualifizieren. Ein solcher Fahrstreifen weist ausreichende Markierungen zur Hochautomation auf, ist hindernisfrei und ohne Gegenverkehr.

- *Ortung:* Neben den Umfeldinformationen sendet der Server zusätzlich die Geokoordinaten verschiedener Landmarken an die Fahrzeuge, welche dann im Fahrzeug zur genaueren Eigenlokalisierung genutzt werden können. Dies ermöglicht eine fahrspurgenaue Zuordnung aller relevanten Informationen im Fahrzeug.

- *Fusion*: Im Fahrzeug wurden die vom Safety Server über Mobilfunk eintreffenden Daten mit den Daten der eigenen Umfeldsensorik zu einem Gesamtbild fusioniert. Dabei sind die Zuverlässigkeit der einzelnen Quellen sowie die Aktualität der Daten zu berücksichtigen. Die Fusion sowie die resultierende Umfeldrepräsentation in den Fahrzeugen stellte eine der Herausforderung im Förderprojekt Ko-HAF dar.

### Funktionsentwicklung für hochautomatisiertes Fahren

- Die Umfelderkennung und die Funktionen der ersten Generation von hochautomatisiert fahrenden Fahrzeugen sind damit nur noch als Rückfallebene anzusehen. Die zusätzliche kollektive Perzeption erlaubt den Fahrzeugen eine vorausschauende und komfortable Fahrweise. Die Fahrfunktionen können durch die weitere Vorausschau frühzeitiger und sicherer eingreifen.
- Im Ko-HAF Projekt wurden insbesondere folgende Funktionen für HAF Generation 2 entwickelt und evaluiert: Vorausschauender Umgang mit Gefahrenstellen, Automatisiertes Einfädeln, sowie der Notbetrieb zum Überführen des Fahrzeugs in den risikominimalen Zustand.

### Einbindung des Fahrers – kooperative Fahrzeugführung

- Als dritte essentielle Komponente neben dem Safety Server und der Funktionsumsetzung in den Fahrzeugen ist die Betrachtung des Fahrers als Teil des HAF-Systems ausschlaggebend. Für HAF-Systeme der zweiten Generation kann eine längere Automationsdauer erwartet werden als bei HAF-Systemen der ersten Generation. Dies hat für den Fahrer Vorteile, erfordert aber neben einer erneuten Betrachtung der Kontrollierbarkeit auch größeren Aufwand, um dem Fahrer den aktuellen Automationsmodus zu verdeutlichen. Ein geeignetes Mensch-Maschine-Interface ist zu entwickeln, wobei besonderer Wert auf das Interaktionsdesign bei Fahrerübergaben zu legen ist.

Die AUDI AG beteiligte sich an allen drei Themenkomplexen (Server-Backend vs. Fahrzeugfrontend (AP1, AP2) – Einbindung des Fahrers (AP3) – Funktionsentwicklung und –testing (AP4, AP5)). Der Fokus lag dabei auf der Umsetzung der HAF-Funktion „Automatisiertes Einfädeln“, wobei sich alle Aktivitäten in den Teilprojekten dran ausrichteten.

#### AP1 Umfelderkennung und –repräsentation im Backend

Da Audi seinen Produktschwerpunkt nicht auf Serveranwendungen liegen hat, lag der Fokus seitens Audi auf der Definition der Schnittstelle zwischen Server-Backend und Fahrzeug-Frontend. An dieser Stelle übernahm Audi zusammen mit Bosch die zusätzliche Aufgabe, die in Ko-HAF erarbeitete Schnittstellendefinition mit dem SENSORIS-Konsortium abzustimmen,

damit die Ergebnisse aus Ko-HAF in den Standardisierungsprozess des SENSORIS-Konsortiums einfließen konnten (siehe auch Sensoris (2018)).

#### AP2 Fahrzeuglokalisierung und statisches Umfeld

Für dieses Teilprojekt übernahm Audi nach Ausscheiden des Partners Daimler AG aus diesem Teilprojekt die Teilprojektleitung. Inhaltlich lag der Fokus der AUDI AG in diesem Teilprojekt auf der Erweiterung der Vorausschau durch digitale Karten, um die Fahrfunktion „Automatisiertes Einfädeln“ in den Szenarien „Auffahren auf Autobahn“ und „Abfahren von Autobahn“ realisieren zu können.

#### AP3 Kooperative Fahrzeugführung und kontrollierbare Automation

Schwerpunkte der Arbeiten seitens Audi im AP3 lag in der Herausforderung, Fahrer die nicht mehr ständig das Fahrsystem überwachen müssen, in einem Zustand zu halten, dass sie zum einen den jeweiligen Fahrzeugzustand wissen und zum anderen die Fahraufgabe nach Aufforderung des Systems in einer angemessenen Zeitspanne übernehmen zu können

#### AP4 Funktionsentwicklung für Normal- und Notbetrieb

Der Fokus bei Audi im AP4 lag auf der Entwicklung und Integration der Fahrfunktion „Automatisiertes Einfädeln“. Diese Fahrfunktion wurde anhand der Szenarien „Auffahren auf Autobahn“ und „Abfahren von Autobahn“ demonstriert. Dazu wurden neben der Funktionsentwicklung in AP4 die Ergebnisse aus AP3 genutzt, um ein Level3-spezifisches HMI umzusetzen. Erfolgt keine Übernahme durch den Fahrer wurde eine Notfallstrategie umgesetzt, welche das Fahrzeug in einen risikominimalen Zustand überführt.

#### AP5 Absicherung

Im AP5 hatte Audi nur einen kleinen Anteil. Im UAP5.1 Testmethodik brachte Audi seine Erfahrung aus Serienprojekten mit ein. Zum anderen übernahm Audi die Abstimmung zum Förderprojekt PEGASUS, welches die Entwicklung von Test-/Absicherungsmethoden und Tools für hochautomatisierte Fahrzeuge zum Ziel hatte. Im Speziellen betraf dies die Abstimmung eines Glossars von Begriffen wie Testort/-methode etc., um eine gemeinsame Sprachprojektübergreifend zu verwenden.

Auf die detaillierten Ergebnisse der AUDI AG in den einzelnen Teilprojekten wird im Folgenden näher eingegangen.

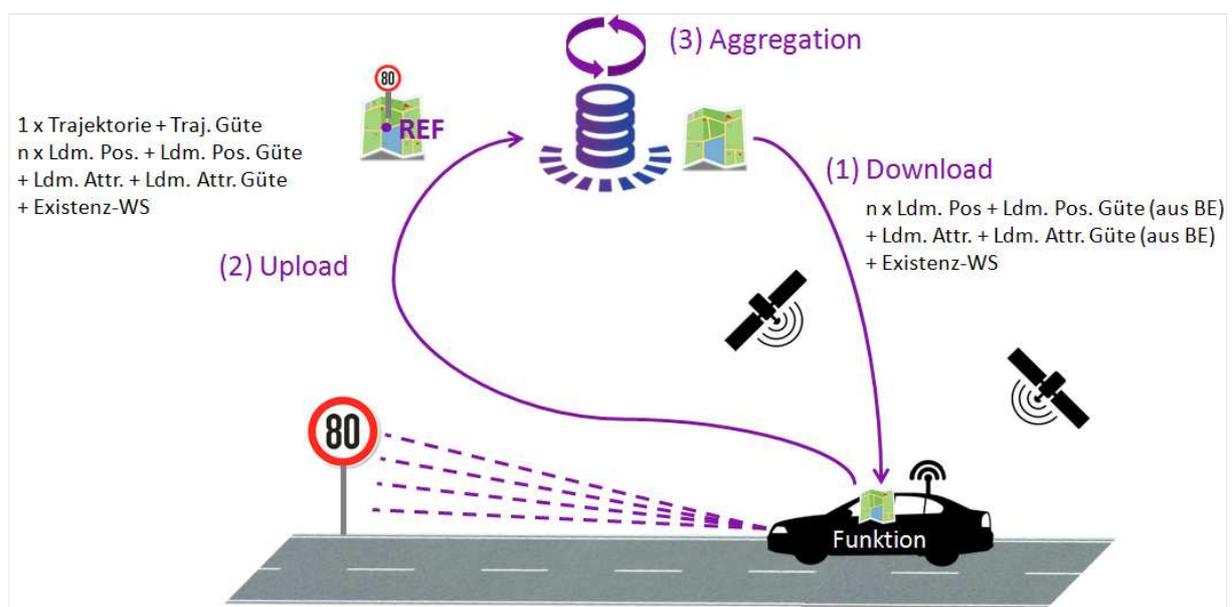
### 3 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

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

Die AUDI AG war im AP1 nur im UAP1.2 aktiv. In diesem Unterarbeitspaket wurde die Schnittstelle zwischen dem Serverbackend und dem Fahrzeug-Frontend definiert. Das UAP1.2 stellt somit den Link zum AP2 dar, für das Audi Teilprojektleitung innehatte.

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

Der bidirektionale Datenaustausch zwischen Backend und Frontend wurde übergreifend zwischen AP1 und AP2 abgestimmt. Der resultierende vollständige Kreislauf mit Landmarken-Upload durch ein Fahrzeug (2), Datenaggregation durch den Safety-Server (3), und Landmarken-Download durch ein Fahrzeug (1) unter Berücksichtigung der dabei übertragenen Attribute ist in Abbildung 3 dargestellt.



**Abbildung 3:** Bidirektionaler Datenaustausch zwischen Backend (Safety-Server) und Frontend (Fahrzeug)

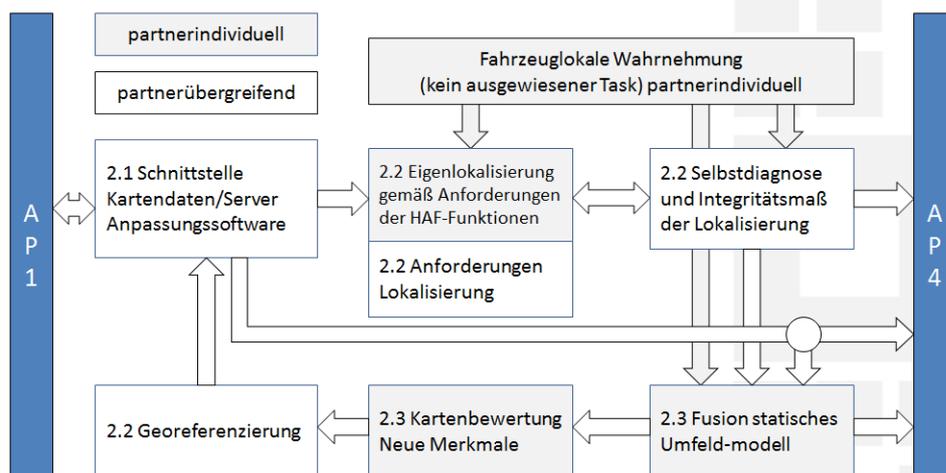
Hierzu ist partnerübergreifend ein Sensordatenaustauschformat auf Grundlage von Here SENSORIS spezifiziert worden, das es ermöglicht sowohl statische als auch dynamische Umfeldinformationen vom Fahrzeug an den Safety Server zu übermitteln. Zur Weiterentwicklung des Formats hat Audi, u.a. durch den Vorschlag eines verbesserten Teilkachelkonzepts, und die kontinuierliche Bereitstellung von Messdaten aktiv beigetragen (siehe Abbildung 4). Für weitergehende Informationen zum erweiterten SENSORIS-Format sei auf Sensoris (2018) verwiesen. Dort finden sich detaillierte Informationen zum SENSORIS-Format und den aus Ko-HAF stammenden Erweiterungen.



**Abbildung 4:** Voraggregierte Übermittlung von Umfeldinformationen durch ein Audi-Versuchsfahrzeug. Hierbei werden mehrere Landmarken-Observationen zu jeweils 50 Meter langen Teilkacheln zusammengesamt.

### 3.2 AP2 Fahrzeuglokalisierung und statisches Umfeld

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 5 dargestellt. Die im Rahmen der UAPs seitens Audi erarbeiteten Ergebnisse sollen nachfolgend kurz zusammengefasst werden. Zusätzlich hat Audi die AP2 und UAP2.3-Leitung übernommen.



**Abbildung 5:** Übersicht der Unterarbeitspakete im AP2 und ihre Schnittstellen zum AP1 und AP4.

### 3.2.1 UAP2.1 Gewinnung und Kommunikation von Backend Daten

Der UAP2.1 hatte zum Ziel, den bidirektionalen Datenaustausch bzgl. statischer und dynamischer Umfeldinformationen 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 mobile Baustellen, Objekte auf der Fahrbahn und Liegenbleiber bezeichnet.

Seitens Audi wurde eine partnerindividuelle Umsetzung des Upload- und Downloadpfades auf Basis von ADTF erfolgreich vorgenommen und zur Zwischen- und Abschlusspräsentation demonstriert. Ferner wurden seitens Audi zahlreiche Sensordaten an den Safety Server mit dem Ziel der Aggregation durch das AP1 übermittelt.

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

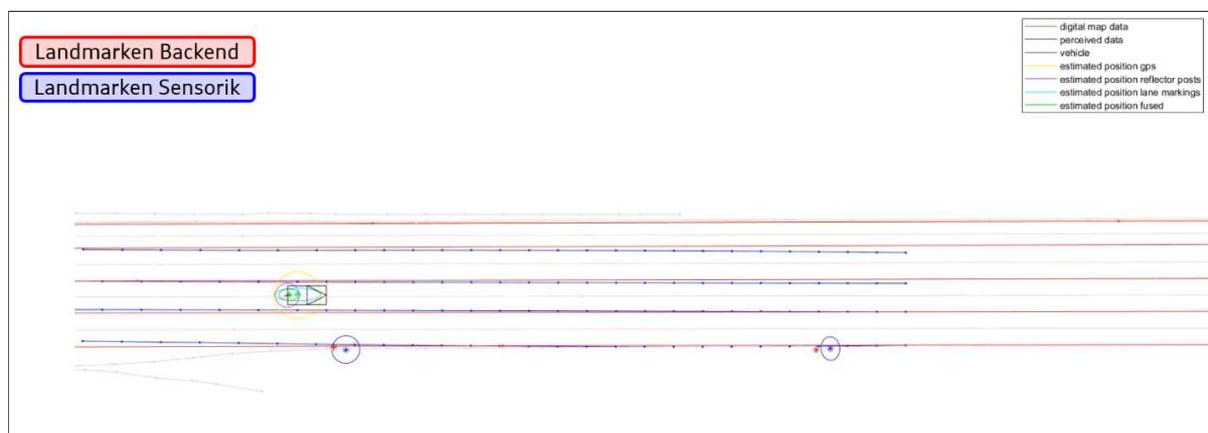


**Abbildung 6:** Das im Rahmen der Ko-HAF Abschlusspräsentation von Audi und BMW gemeinsam gezeigte Skibox-Szenario aus Vogelperspektive (Abbildung links). Hierbei wird das nachfolgende Fahrzeug (BMW) durch das Vorderfahrzeug (Audi) hinsichtlich der auf der Fahrbahn liegenden Skibox gewarnt. Die Gefahrenstelle wird im Rahmen der Trajektorienplanung der HAF-Funktion vorausschauend berücksichtigt (Abbildung rechts).

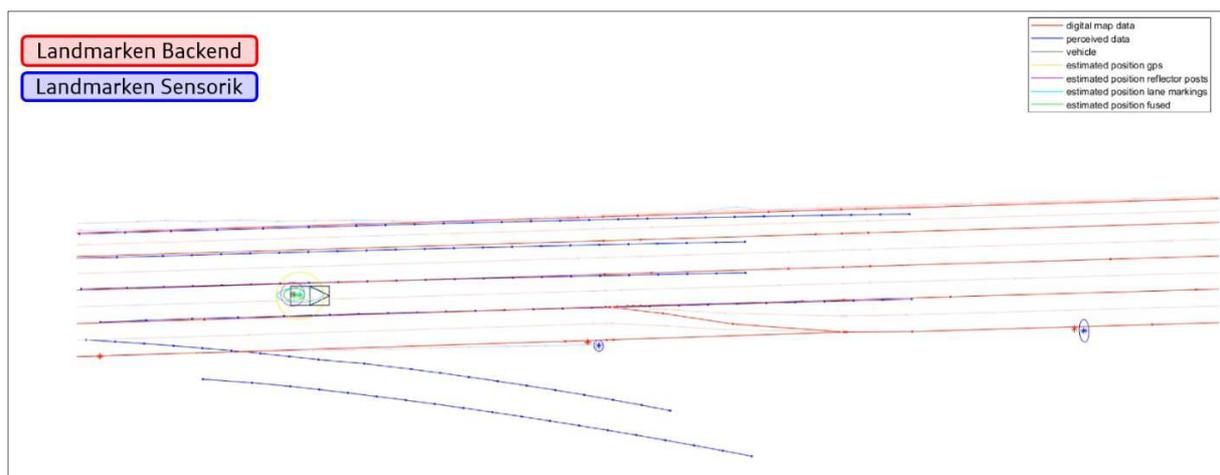
Im Rahmen der Ko-HAF Abschlusspräsentation wurde das Hochsenden, Empfangen und Einspeisen dynamischer Informationen von Audi am Beispiel kleiner Objekte auf der Fahrbahn (Skibox) gezeigt. Das Skibox-Szenario wird in Abbildung 6 im Detail gezeigt. Hierbei wird von einem Vorderfahrzeug (Audi) ein Objekt 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 potentiellen Gefahrenstelle benachrichtigt. Die Information fließt im gezeigten Beispiel in die Trajektorienplanung der HAF-Funktion des nachfolgenden Fahrzeugs (BMW) ein. Welches vorausschauend einen Fahrstreifenwechsel und eine Reduktion der Geschwindigkeit durchführt.

### 3.2.2 UAP2.2 Fahrzeuglokalisierung

Im UAP2.2 wurden ein partnerübergreifendes Konzeptpapier und darauf basierend partnerindividuelle Lösungen für die Eigenlokalisierung erarbeitet. 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 rechen-technisch aufwändiges, aber nachweislich mathematisch optimales Verfahren mittels Bündelausgleichs verwendet. Die Abbildung 7 zeigt die robuste Lokalisierung des Ko-HAF Audi-Versuchsfahrzeugs unter idealen Bedingungen, d.h. minimale Abweichungen zwischen on-board Wahrnehmung und digitaler Karte. Die Abbildung 8 zeigt die robuste Lokalisierung unter erschwerten Bedingungen, d.h. bei vorhandenen größeren Abweichungen zwischen on-board Wahrnehmung und digitaler Karte.



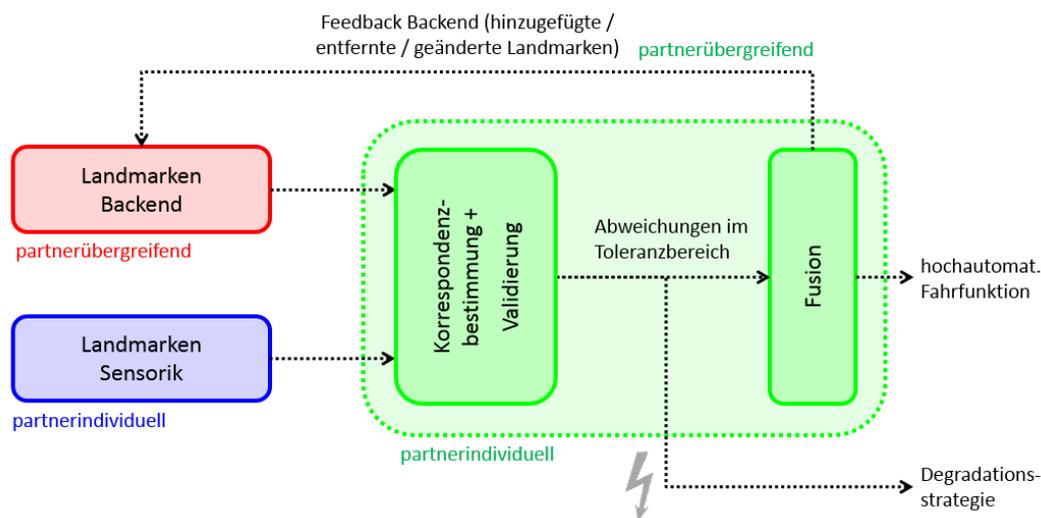
**Abbildung 7:** Hochgenaue Fahrzeuglokalisierung durch die Verwendung von Punkt- und Linienförmiger Merkmale aus on-board Wahrnehmung und digitalen Kartendaten. Beispiel, welches eine robuste Lokalisierung unter Idealbedingungen, d.h. eine minimale Abweichung zwischen digitaler Karte und Wahrnehmung, durch einen Audi-Versuchsträger zeigt.



**Abbildung 8:** Hochgenaue Fahrzeuglokalisierung durch die Verwendung von Punkt- und Linienförmiger Merkmale aus on-board Wahrnehmung und digitalen Kartendaten. Beispiel, welches die robuste Lokalisierung trotz Abweichungen zwischen digitaler Karte und Wahrnehmung durch einen Audi-Versuchsträger zeigt.

### 3.2.3 UAP2.3 Statisches Umfeldmodell, Kartenbewertung und Georeferenzierung der Backend-Daten im Fahrzeug

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



**Abbildung 9:** Übersicht über das partnerübergreifend abgestimmte statische Fusionskonzept von sensorischer Wahrnehmung und a priori Kartendaten.

In Abbildung 9 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 UAP 2.3 wurde partnerübergreifend die Vielzahl der prinzipiell möglichen Kartenfehler gesammelt. Die gesammelten Kartenfehler wurden partnerübergreifend geclustert und priorisiert (siehe Abbildung 10). Hierbei hat sich aus der Perspektive der hochautomatisierten Fahrfunktionen herauskristallisiert, dass folgende Kartenfehler von den Partnern als besonders relevant eingeschätzt werden:

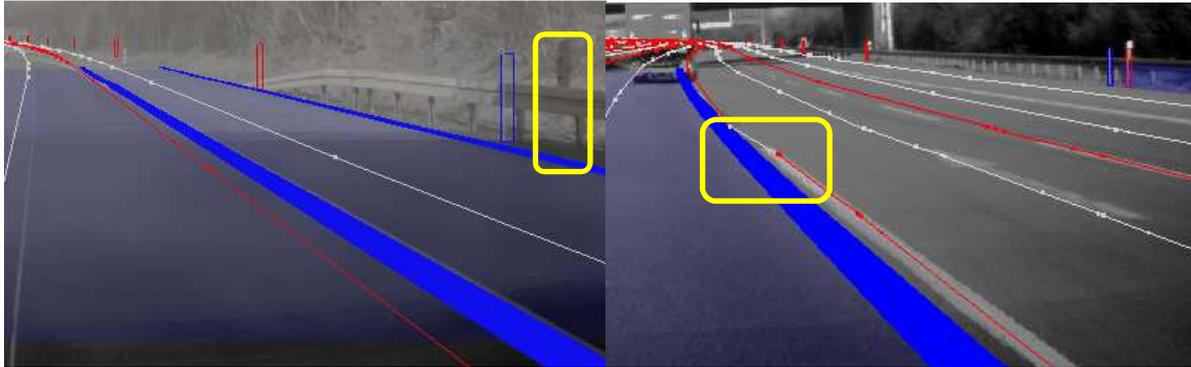
Positionierungsfehler:
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fehler der Landmarkengeometrien (Prio. 1)</li> <li>Inkonsistenter Offset der Landmarkengeometrien (Prio. 1)</li> </ul>
Topologiefehler:
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fehlerhafte Straßen-Topologie (Prio. 1)</li> </ul>
Existenzfehler:
<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 von Audi identifizierte Kartenfehler im Rahmen von Ko-HAF werden in der Abbildung 11 gezeigt. Hierbei handelt es sich um einen Existenzfehler eines real existierenden aber in der Karte nicht verzeichneten Leitpfostens (Existenzfehler vom Typ false negative) und einer fälschlicher Weise als Centerline attributierten Spurmarkierung (Attributfehler).

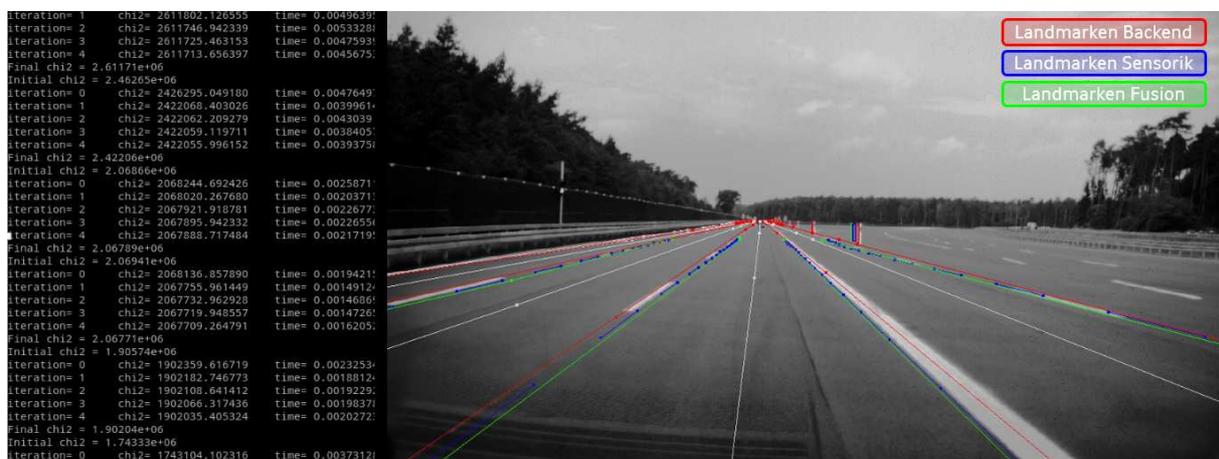
Zusammenfassend kann für die im Rahmen von Ko-HAF genutzten Kartendaten seitens Audi gesagt werden, dass zwar Beispiele für alle Typen von Fehlern gefunden werden konnten, diese aber insgesamt mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit auftreten und somit die eingesetzten Kartendaten von einer hohen Güte sind.



**Abbildung 10:** Partnerübergreifende Sammlung möglicher Kartenfehler (linkes Bild). Partnerübergreifendes Clustering und Priorisierung, der für hochautomatisierte Fahrfunktionen relevanten Kartenfehler.



**Abbildung 11:** Beispielhaft durch Audi identifizierte Kartenfehler. Fehlender Leitpfosten (linkes Bild oben). Inkorrekt attributierte Fahrstreifenmarkierungen (rechtes Bild oben).



**Abbildung 12:** Beispiel von der Langen Geraden in Dudenhofen für den von Audi durchgeführten Bündelausgleich (grün) von statischen punkt- und linienförmigen Merkmalen aus der on-board Wahrnehmung (blau) und der digitalen Karte (rot). Links vom Videobild sind exemplarisch die Ausgaben des eingesetzten Bündeloptimierungsverfahrens abgebildet.

### 3.3 AP3 Kooperative Fahrzeugführung und kontrollierbare Automation

Gemäß SAE (2018) kommt dem Fahrer bei Level3-Systemen nach wie vor eine Rolle zu und zwar in der Form, dass er als letzte Eingriffsinstanz nach wie vor zur Verfügung steht. Nach einer angemessenen Übernahmezeit muss der Fahrer in der Lage sein, die Fahrzeugführung übernehmen zu können. Hieraus leiten sich einige Anforderungen ab z.B. der Art, dass der Fahrer in der Verfassung gehalten werden muss, dass er diese Rolle auch übernehmen kann. Die sich daraus ergebenden Fragestellungen und deren Beantwortung waren Fokus des Teilprojekts 3, Kooperative Fahrzeugführung und kontrollierbare Automation.

Audi war in allen Unterarbeitspaketen beteiligt, wobei der Fokus auf UAP3.2 lag, im Rahmen dessen eine Vielzahl von Probandenstudien durchgeführt wurden.

### **3.3.1 UAP3.1 Spezifikationen der Prüfszenarien und Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion**

Im Unterarbeitspaket 3.1 wurden seitens Audi Prüfszenarien aus bereits durchgeführten Fahr-simulatorstudien systematisch aufbereitet und zur Verfügung gestellt, um zu einer möglichst vollständigen Sammlung von geeigneten Prüfszenarien beizutragen.

### **3.3.2 UAP3.2 Untersuchung von Automationseffekten und Implementierung eines Moduls Fahrer Verfügbarkeit und Vigilanz**

Im UAP3.2 wurden drei Wizard-of-Oz-Studien (siehe Abbildung 15) mit insgesamt 126 Probanden durchgeführt. Zunächst wurde ein „Drowsiness-Management-Concept“ (DMC) mit dem Ziel entwickelt, verschiedene Strategien abzuleiten, mithilfe derer dem Fahrerzustand „Drowsiness“ (Schläfrigkeit) aus OEM- und Nutzerperspektive während einer automatisierten Fahrt begegnet werden kann.

#### **Theoretischer Hintergrund / Drowsiness-Management-Konzept**

Die Entwicklung des DMCs basiert auf der Annahme, dass ein Fahrer eines Level3-Systems als „unresponsive“ (nicht wahrnehmungsbereit) einzustufen ist, wenn dieser eingeschlafen ist. Denn eine sichere Übernahme, insbesondere in komplexen Verkehrssituationen, wird dann mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht immer möglich sein. Dies stellt ein potentielles Sicherheitsrisiko dar. Daher wurde angenommen, dass der Fahrerzustand „Drowsiness“ (Schläfrigkeit), der kurz vor dem Einschlafen passiert wird, eine andere Systemgrenze eines L3-Systems darstellt. „Drowsiness“ wurde von Johns (1998) als Übergangszustand zwischen Wachheit und Schlaf definiert.

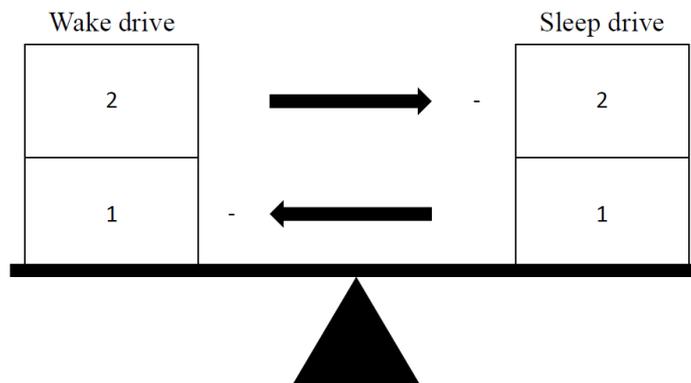
In einer Probandenstudie zeigte sich jedoch, dass Nutzer ein automatisiertes System insbesondere dann nutzen wollen würden, wenn sie selbst erschöpft sind (Payre, Cestac, & Delhomme, 2014). Dies deutet darauf hin, dass es hier unter Umständen zu einer Diskrepanz hinsichtlich der Nutzererwartung und den Anforderungen eines L3-Systems an den Fahrerzustand kommen könnte. Ein System, welches die Fahraufgabe einfach an einen als „drowsy“ klassifizierten Nutzer zurückgibt, erscheint daher aus einer Sicherheits- und Nutzerperspektive, aber auch aus der Perspektive anderer Verkehrsteilnehmer als nicht akzeptabel.

Daher sollte ein DMS in Fahrzeuge mit einem L3-System integriert werden, um bestimmen zu können, ob der Fahrerzustand „Drowsiness“ erreicht wurde. Basierend auf einer solchen Schätzung können verschiedene Strategien ausgelöst werden.

Mögliche kritische Fahrerreaktionen, die durch den Einsatz eines DMCs vermieden werden sollten, sind:

- zu langsame Reaktionen oder ausbleibende Reaktionen
- und schreckhafte Reaktionen („startle reactions“).

Um angemessene Strategien identifizieren zu können, wie der Fahrerzustand „Drowsiness“ im Kontext einer L3 Fahrt gemanagt werden kann, muss der zirkadiane Rhythmus berücksichtigt werden. Dafür wurde das „four process model“ von Johns (1998) herangezogen (siehe Abbildung 13).



**Abbildung 13:** Wachheits- und Schlafdrang (Johns, 1998)

Dieses Modell unterscheidet einen Wachheits- und einen Schlafdrang. Gemäß diesem Modell wird ein Mensch immer dann einschlafen, wenn der Schlafdrang größer als der Wachheitsdrang ist. Der Wachheits- und der Schlafdrang lassen sich jeweils in einen primären und sekundären Drang unterteilen. Der sekundäre Wachheitsdrang erscheint im Kontext einer hochautomatisierten Fahrt als besonders relevant. Denn dieser kann durch somatosensorischen (Johns, 1998), emotionalen und kognitiven Input (Saper et al., 2005) beeinflusst werden. Des Weiteren führte Johns (1998) auf, dass dies der Drang ist, der in den meisten Fällen darüber entscheidet, ob eine Person einschlafen wird. Zudem wies er darauf hin, dass sich dieser Zustand innerhalb von Sekunden verändern kann.

### **Fahrerzustandsbezogene Strategie (Driver-state related strategy)**

Das Ziel dieser Strategie ist es, das Drowsinesslevel des Nutzers zu reduzieren, um dadurch das Systemlimit „Drowsiness“ im Idealfall nicht zu erreichen. Verschiedene Maßnahmen zur Reduktion von Schläfrigkeit wurden bereits im Kontext einer manuellen Fahrt untersucht. So zeigte sich beispielsweise, dass das Berühren von Rüttelstreifen einen kurzzeitig reaktivierenden Effekt hatte. Jedoch traten nach 5 Minuten bereits erneut verschiedene Schläfrigkeitsindikatoren auf (Anund, Kecklund, Vadeby, Hjalmdahl, & Akerstedt, 2008). Auch andere Maßnahmen, wie z.B. Koffeinkonsum, Povernaps, Kühlung, Warnmodalitäten, Alertness-Maintaining Tasks, wurden in diesem Kontext untersucht. Es zeigte sich jedoch, dass ein schläfrigkeitsmindernder Einfluss der verschiedenen Maßnahmen häufig, wenn überhaupt, nur von kurzer Dauer war. Einzig die schläfrigkeitsreduzierende Wirkung von Naps und Koffein war in den meisten Studien eindeutig nachweisbar. Verschiedene Wissenschaftler haben die unterschiedlichen schläfrigkeitsreduzierenden Maßnahmen (im Kontext einer manuellen Fahrt) zusammengefasst (für weitere Informationen siehe z.B. J. A. Horne and Reyner (1995), Cummings, Koepsell, Moat, and Rivara (2001) und Davidsson (2012)).

Im Gegensatz zu einer manuellen Fahrt müssen die Nutzer eines L3-Systems weder die Fahraufgabe noch das System überwachen. Deshalb können Nutzer während einer L3 Fahrt u.U. motivierendere Aufgaben als während einer manuellen Fahrt durchführen. Dies wiederum kann den sekundären Wachheitsdrang positiv beeinflussen. Eine mögliche Variante einer fahrerzustandsbezogenen Strategie wäre es daher, gezielt in Abhängigkeit des Drowsinesslevel z.B. spezifische fahrfremde Tätigkeiten anzubieten. Jedoch muss in diesem Kontext grundsätzlich berücksichtigt werden, dass schläfrigkeitsreduzierende Maßnahmen nicht beliebig oft wirken. Deshalb wurde das DMC konservativ ausgelegt und erlaubt nur ein einmaliges Überschreiten eines bestimmten Drowsinesslevel (DLx). Wird dieses Level erstmalig überschritten, so stehen dem Nutzer verschiedene fahrerzustandsbezogene Strategien (z.B. fahrfremde Tätigkeiten) zur Verfügung. Wird dieses Level anschließend erneut überschritten, so wird der Fahrerzustand „Drowsiness“ als Systemgrenze betrachtet.

### **Systembasierte Strategie**

Trivedi, Gandhi und McCall (2007) zeigten auf, dass es nützlich ist, verschiedene Warnungen oder Schwellwerte von eingreifenden Systemen, basierend auf der Interaktion zwischen Umwelt-, Fahrzeug-, und Fahrerzustand, anzupassen. Dies kann auf L3 Systeme übertragen werden. Demnach ist es das Ziel einer systembasierten Strategie, die Sicherheit zu gewährleisten, wenn Unsicherheit darüber besteht, ob ein Nutzer eines L3 Systems in der Lage ist, die Fahraufgabe sicher zu übernehmen. Mögliche Optionen einer solchen Strategie wären z.B. eine Geschwindigkeitsreduktion und das Vermeiden von Überholvorgängen, bis hin zu der Durchführung eines Minimum Risk Manövers (MRM).<sup>1</sup> Eine weitere Möglichkeit bestünde darin, dem Fahrer die Fahraufgabe zurückzugeben. Jedoch zeigten Schömig und Kaussner (2010), dass sich diese Transition nur kurzfristig positiv auf den Wachheitszustand der Probanden auswirkte. Des Weiteren könnten Übernahmeaufforderungen zu schreckhaften Reaktionen führen.

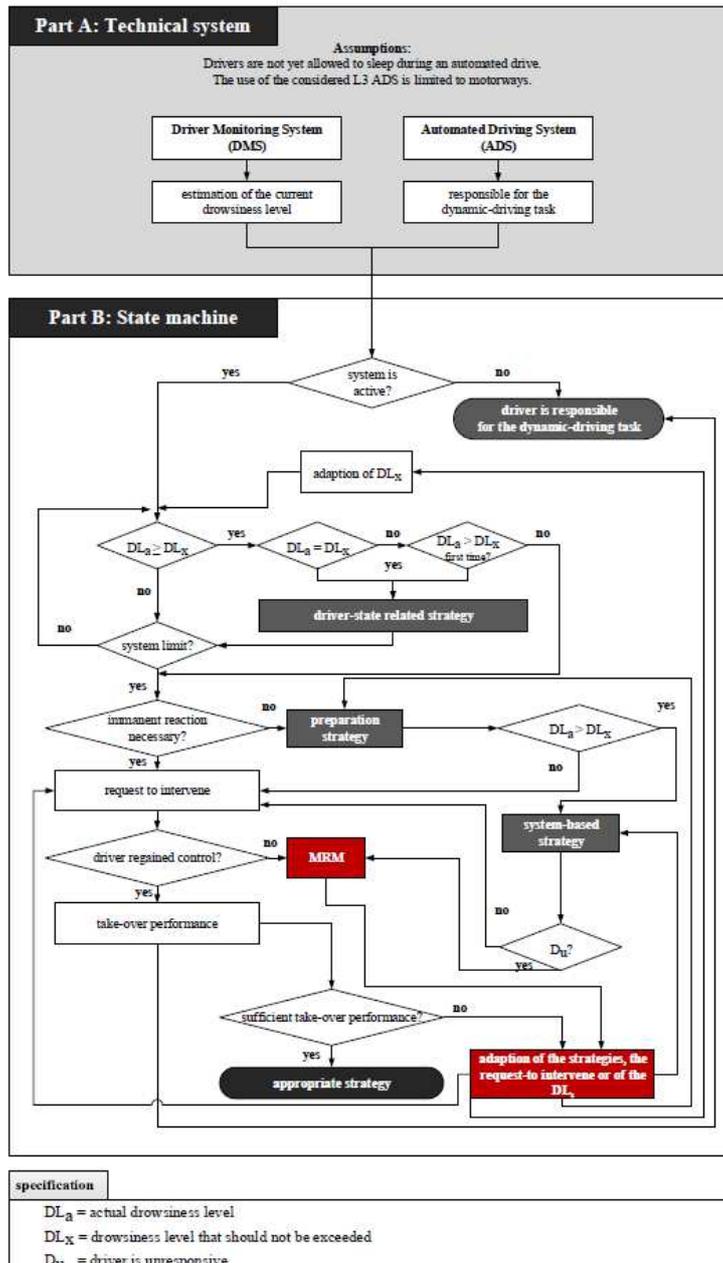
### **Vorbereitungsstrategie**

Um solch schreckhafte Reaktionen möglichst zu vermeiden, könnte eine Vorbereitungsstrategie sinnvoll sein. Das Ziel dieser Strategie ist es, den Fahrer innerhalb einer kurzen Zeitspanne zu reaktivieren und dadurch schreckhafte Reaktionen zu vermeiden. Während dieser Strategie würden fahrerzustandsbezogene und systembasierte Optionen gleichzeitig durchgeführt werden.

Die verschiedenen Strategien stellen keine Alternativen zueinander dar. Hingegen werden diese basierend auf logischen Operationen ausgelöst (siehe Abbildung 14).

---

<sup>1</sup> Ein L3-System muss per Definition nicht in der Lage sein, ein MRM durchführen zu können. Jedoch kann ein L3-System (obwohl nicht gefordert) mit einer solchen Funktionalität ausgestattet sein.



**Abbildung 14:** Drowsiness Management Concept (DMC)

Veröffentlichung: Weinbeer, V., Bill, J.-S., Baur, C., & Bengler, K. (2018). Automated driving: Subjective assessment of different strategies to manage drowsiness. In D. de Waard et al. (Eds.), *Proceedings of the human factors and ergonomics society europe chapter 2017 annual conference* (pp. 5-17). (oral presentation on September 28th, 2017 in Rome)

Basierend auf dem DMC wurden zentrale Fragestellungen identifiziert, die anschließend mithilfe von Probandenstudien in einem Wizard-of-Oz-Setting (siehe Abbildung 15) untersucht wurden.



**Abbildung 15:** Wizard-of-Oz-Ansatz (Rechtslenker zur Simulation einer L3-Fahrt)

# Studie A (N=31)

**Abstract:** Das Ziel der Studie A war es, zu überprüfen, inwiefern der Fahrerzustand „Drowsiness“ in einer Realfahrt hergestellt werden kann. Diese Erkenntnis ist relevant, um den Einfluss empirisch untersuchen zu können. Die verschiedenen Maßnahmen (z.B. Koffeinverzicht, Entspannungsmusik, lange Fahrt) führten zu einer starken Drowsinessentwicklung. Insgesamt erreichten 63 Prozent der Probanden (n = 19) das höchste Drowsinesslevel ohne Schlafdeprivation. Zudem wiesen die individuellen Unterschiede in der Drowsinessentwicklung darauf hin, dass eine zustandsbezogene Manipulation sinnvoller als eine Manipulation der Automationsdauer ist. Denn nur durch eine zustandsbezogene Manipulation kann sichergestellt werden, dass der Drowsinesszustand tatsächlich erreicht wurde und empirisch verglichen werden kann. Es zeigte sich kein Effekt des Schläfrigkeitslevel auf die untersuchten Übernahmezeitpunkte. Deskriptiv konnte mit steigendem Schläfrigkeitslevel eine geringfügige Reaktionszeitverkürzung festgestellt werden. Weiterer Forschungsbedarf besteht darin, Übernahmequalitätsaspekte in diesem Kontext zu untersuchen. Es wurde zudem beobachtet, dass Probanden beim Erreichen höherer Schläfrigkeitslevel z.T. schreckhafte Laute von sich gaben.

*Veröffentlichung: Weinbeer, V., Baur, C., Radlmayr, J., Bill, J.-S., Muhr, T., & Bengler, K. (2017). Highly automated driving: How to get the driver drowsy and how does drowsiness influence various take-over aspects? 8. Tagung Fahrerassistenz. (oral presentation on November 23th, 2017 in Munich)*

## Methode

### Rechtslenker

Um untersuchen zu können, wie sich der Fahrerzustand Schläfrigkeit während einer L3-Fahrt entwickelt, wurde ein Audi Q7 Rechtslenker umgebaut. Die verschiedenen vorgenommenen Modifikationen werden im Folgenden aufgeführt:

#### Erste Sitzreihe:

- Integration eines Lenkraddummys sowie Pedaldummys
- Systemstatusdisplay im Lenkrad (z.B. Pilot verfügbar / aktiv / bitte übernehmen)
- Fahrschulspiegel (Innen- und Außenspiegel)
- Vorhang
- Kameras
- LCD-Displays zur Präsentation einer Übernahmeaufforderung

#### Fond:

- 1 Bildschirm zur Beobachtung der Schläfrigkeitsentwicklung
- Tablet zur Schläfrigkeitsbewertung
- 1 Bildschirm zur Steuerung des Versuchsrechners (z.B. Auslösung der Übernahmeaufforderung, Starten und Beenden der Aufzeichnung)

#### Kofferraum:

- Messequipment.

Mithilfe dieser Methode war es möglich, die Übernahmeaufforderung in Abhängigkeit des Schläfrigkeitslevel auslösen zu können. Im Fall einer Übernahmeaufforderung wurden auf den

drei LCD-Displays Bremsleuchten auf dem mittleren und rechten LCD-Display für 7s dargestellt. Um die Übernahme-situation in diesem Setting erfolgreich zu lösen, war ein Lenkimpuls nach links erforderlich. Das Dummylenk-rad konnte ca. 2cm nach links und rechts gedreht werden.

## Schläfrigkeitsbewertung

Im Rahmen dieser Studie wurde das Schläfrigkeitslevel der Probanden mithilfe einer Expertenbewertung ermittelt. Dieses Verfahren wurde von Wierwille und Ellsworth (1994) entwickelt und in der Vergangenheit leicht modifiziert. Die im Rahmen dieser Studie verwendete Skala zeigt Tabelle 1:

**Tabelle 1:** Schläfrigkeitslevel und Indikatoren

Schläfrigkeitslevel	Indikatoren
1 - <i>Nicht schläfrig</i>	Anwesenheit von Aufmerksamkeit; normal schnelle Lidschläge; normal häufige Blickwechsel; normaler Gesichtstonus; normal häufige Körperbewegungen/Gesten (Wierwille & Ellsworth, 1994)
2 - <i>Etwas schläfrig</i>	Ausreichende Aufmerksamkeit vorhanden; weniger scharfe/aufmerksame Blicke; längere Fixationen; langsamere Lidschläge; erstes Auftreten von Manierismen (Augenreiben, Gesichtsreiben, Kratzen, Verziehen des Gesichts, unruhiges Umherrutschen im Sitz) (Wierwille & Ellsworth, 1994) und (Wiegand et al., 2009)
3 - <i>Mäßig schläfrig</i>	Auftreten von Manierismen; langsamere Lidschlüsse; starke Fixationen; glasige Augen; abnehmender Gesichtstonus (Wierwille & Ellsworth, 1994)
4 - <i>Deutlich schläfrig</i>	Lange Lidschlüsse (1-2s); Seitwärtsrollen der Augen; fehlende Fixation; seltene Lidschläge; geringer Gesichtstonus; nur vereinzelt Körperbewegung; bequeme Position im Sitz (Karrer-Gauß, 2012)
5 - <i>Sehr schläfrig</i>	Fehlende Aktivität; längere Lidschlüsse (2-3s); Augenrollen seitwärts und nach oben; keine richtige Fixation; verminderter Gesichtstonus; große isolierte oder punktuelle Bewegungen (Wierwille & Ellsworth, 1994)
6 - <i>Extrem schläfrig</i>	Lange Zeitspannen mit fehlender Aktivität; Sekundenschlaf; sehr lange Lidschlüsse (mehr als 4s); ruckartige Bewegungen beim Übergang in und aus dem Sekundenschlaf) (Wierwille & Ellsworth, 1994)

Zwei Versuchsleiter bewerteten das Schläfrigkeitslevel der Probanden während des gesamten Versuchs alle zwei Minuten. Basierend auf Vorversuchen wurde festgestellt, dass es während eines 1-minütigen Intervalls dazu kommen kann, dass höhere Schläfrigkeitslevel erreicht wurden. Da es das Ziel dieser Studie war, in Abhängigkeit des Schläfrigkeitslevel Übernahme-situationen auslösen zu können, konnten sich die beiden Versuchsleiter im Fond abstimmen

(über Kopfnicken), ob eine Übernahme-situation in Abhängigkeit des Schläfrigkeitslevel ausgelöst werden soll. Eine Analyse der Interrater-Reliability im Nachgang ist aus diesem Grund nicht zulässig.

### Stichprobe

An der Studie nahmen insgesamt 31 Probanden teil. Alle Probanden waren Mitarbeiter der AUDI AG. Die Stichprobe bestand aus 12 weiblichen und 19 männlichen Teilnehmern. Die Teilnehmer waren im Durchschnitt 30 Jahre alt (SD = 8.16) und hatten ihren Führerschein im Mittel seit 13.45 Jahren (SD = 8.20). Ein Teilnehmer musste von der Auswertung ausgeschlossen werden, da durchgängig stark geschlossene Augen keine Bewertung des Schläfrigkeitslevel zuließen.

### Versuchsdesign

Der Einfluss von Schläfrigkeit auf die Hands-on und Driver-intervention-time wurde mithilfe eines Within-Subjects-Vergleichs untersucht (Group A: DL1, DL4, und DL6). Um Trainingseffekte ausschließen zu können, diente Group B als Kontrollgruppe. Demnach wurde untersucht, ob sich die Übernahmeaspekte zwischen Group A (DL4) und Group B (DL4) unterscheiden. Tabelle 2 zeigt das verwendete Versuchsdesign.

**Tabelle 2:** Versuchsdesign

	Levels of Drowsiness		
	DL1	DL4	DL6
<b>Group A</b> n = 16	Group A (DL1)	Group A (DL4)	Group A (DL6)
<b>Group B</b> n = 15	x	Group B (DL4)	Group B (DL6)

### Versuchsablauf

Die Studiendurchführung begann entweder um 9 Uhr oder um 13 Uhr. Ein Studiendurchgang dauerte maximal 3 Stunden. Die Probanden wurden im Einladungsschreiben gebeten, 5 Stunden vor Versuchsbeginn kein Koffein mehr zu konsumieren. Des Weiteren sollten die Probanden sicherstellen, dass sie während des gesamten Versuchs nicht hungrig werden.

Vor dem Versuch wurden die Probanden gebeten, ihr Mobiltelefon auszuschalten. Während des gesamten Versuchs sollten die Probanden nicht essen, trinken und Kaugummi kauen. Die Probanden wurden über die Fahrzeugmodifikationen informiert (kein Lenkrad- und Kopfairbag) und darüber, dass sie den Versuch zu jederzeit ohne Angabe von Gründen abbrechen können.

Den Probanden wurde zudem erklärt, dass der Versuchsleiter (Drive-Wizard) eine L3-Fahrt simuliert. Da an dieser Studie ausschließlich AUDI-Mitarbeiter teilnahmen, wurde sich für die

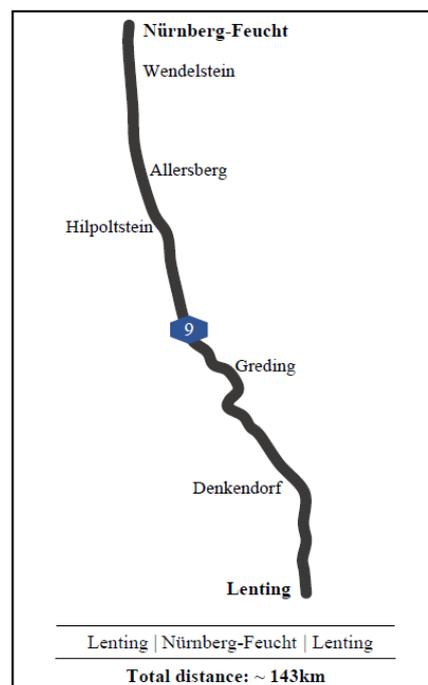
offene Methode entschieden. Eine verdeckte Methode (Probanden wissen nicht, dass der Versuchsleiter das L3-System simuliert, sondern glauben, dass ein reales L3-System existiert) hätte zwar dazu führen können, dass sich manche Versuchsteilnehmer ggfs. noch stärker in das Erleben einer L3-Fahrt hätten hineinversetzen können, jedoch hätte es mit hoher Wahrscheinlichkeit auch einige Probanden gegeben, die erkannt hätten, dass das Versuchsfahrzeug nicht mit der für eine L3-Fahrt erforderlichen Sensorik ausgestattet ist.

Während der Versuchsfahrt war es die Aufgabe der Probanden, sich so gut als möglich zu entspannen. Die Probanden sollten zudem vermeiden, während des Versuchs einzuschlafen und ihrer Augen zu schließen. Während des Versuchs wurde Entspannungsmusik abgespielt.

Den Probanden wurde vor Versuchsbeginn die Übernahmesituation gezeigt und erklärt. In Abhängigkeit des Schläfrigkeitslevel wurden während des Versuchs die Übernahmesituationen getriggert (siehe Studiendesign).

### Teststrecke

Die Versuchsfahrt startete an der Autobahnauffahrt Lenting. Abbildung 16 zeigt die gefahrene Teststrecke. Die maximale Geschwindigkeit lag bei 130km/h. Es wurden während des gesamten Versuchs keine weiteren Assistenzsysteme (ACC oder LKA) verwendet. Des Weiteren wurden Fahrstreifenwechsel nur sehr konservativ durchgeführt.



**Abbildung 16:** Teststrecke Studie A

## Ergebnisse

### Schläfrigkeitsverlauf und Erzeugung

Die Ergebnisse machen deutlich, dass sich Schläfrigkeit sehr individuell entwickelt. Abbildung 17 und Abbildung 18 veranschaulichen diese Beobachtung. Während der Proband (siehe Abbildung 17) sehr schnell sehr schläfrig wurde, erreichte ein anderer Proband (siehe Abbildung 18) während des gesamten Versuchs keine höheren Schläfrigkeitslevel.



Abbildung 17: Schläfrigkeitsentwicklung „schläfrig“



Abbildung 18: Schläfrigkeitsentwicklung „wach“

Die Ergebnisse der Schläfrigkeitsentwicklung der gesamten Stichprobe werden in Tabelle 3 dargestellt. Insgesamt erreichten 76,67 % der Probanden (N=30) das Schläfrigkeitslevel 4. 63,33 % der Probanden erreichten das höchste Schläfrigkeitslevel 6. Die Anzahl der Probanden, die das Schläfrigkeitslevel 6 erreichten, war am Nachmittag (n = 8) höher als am Vormittag (n = 3).

**Tabelle 3:** Zeit bis zum ersten Erreichen der Schläfrigkeit Level 4 und 6

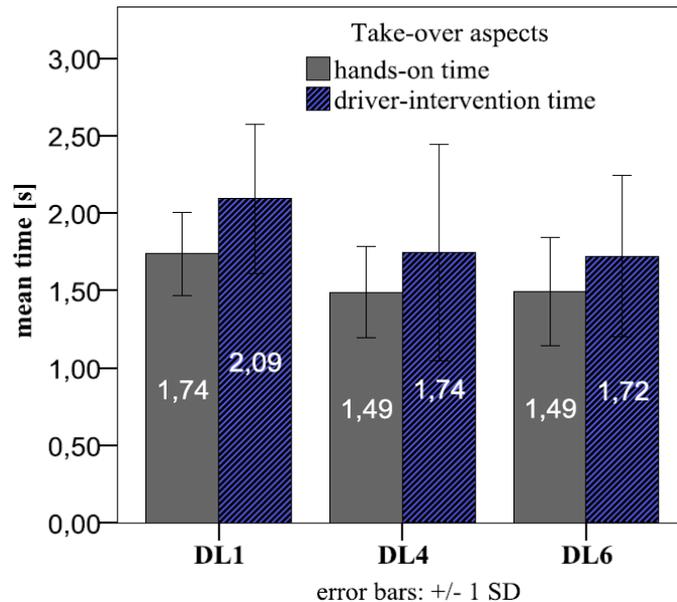
time (minutes)	DL <sub>4</sub> (cumulative percentage)	DL <sub>6</sub> (cumulative percentage)
0	0.00 %	0.00 %
5	3.33 %	0.00 %
10	10.00 %	0.00 %
15	20.00 %	0.00 %
20	23.33 %	3.33 %
25	30.00 %	10.00 %
30	46.67 %	16.67 %
45	60.00 %	40.00 %
60	73.33 %	56.67 %
75	76.67 %	60.00 %
>75	76.67 %	63.33 %
never reached:	23.33 %	36.67 %

### **Einfluss von Schläfrigkeit auf Übernahmezeitaspekte**

Kontrolle eines möglichen Trainingseffekts: Die Übernahmezeitaspekte der Group A (DL4) und der Group B (DL4) waren normalverteilt (Shapiro-Wilks-test: hands-on time Group A (DL4)  $p = .071$ , hands-on time Group B (DL4)  $p = .118$ , driver-intervention time Group A (DL4)  $p = .557$  und driver-intervention time Group B (DL4)  $p = .820$ ).

Für die unterschiedlichen Übernahmeaspekte wurde kein Trainingseffekt festgestellt (t-test für unabhängige Stichproben (hands-on time:  $t(20) = -0.286$ ,  $p = .778$  und driver-intervention time:  $t(20) = -0.471$ ,  $p = .643$ ).

Insgesamt erreichten 9 Probanden der Group A DL1, DL und DL6. Es zeigte sich kein signifikanter Einfluss des Schläfrigkeitslevel auf die Hands-on-Zeit (Friedman test:  $\chi^2(2) = 2.00$ ,  $p = .368$ ). Die mittlere Hands-on-Zeit wurde mit zunehmendem Schläfrigkeitslevel geringfügig kürzer (siehe Abbildung 19).



**Abbildung 19:** Hands-on und Driver-intervention time (Group A)

Auch für die Driver-intervention time wurde kein signifikanter Einfluss des Schläfrigkeitslevel festgestellt ( $F(2, 14) = 2.64, p = .107$ ).

Neben der quantitativen Analyse wurde während des Versuchs beobachtet, dass manche Probanden in höheren Schläfrigkeitslevel mit einem schreckhaften Laut auf die Übernahmeauforderung reagierten. Bei wachen Probanden wurde ein solches Verhalten hingegen nicht beobachtet.

## Diskussion / Fazit

### Schläfrigkeitserzeugung:

- 63.33% der Probanden (N=30) haben das höchste Schläfrigkeitslevel erreicht.
- Fazit: Schläfrigkeitserzeugung (ohne Schlafentzug) ist gelungen

### Versuchsdauer:

- Nach 60 Minuten steigt der Anteil der Probanden, die das Schläfrigkeitslevel 4 oder 6 erreichen nur noch geringfügig an.
- Fazit: Eine Versuchsdauer (Fahrzeit) von 60 Minuten ist effizient

### Methodik: Automationsdauer oder Schläfrigkeitslevel?

- Es zeigte sich eine sehr individuelle Schläfrigkeitsentwicklung.
- Fazit: Eine Manipulation des Schläfrigkeitslevel scheint in diesem Kontext sinnvoller als eine Manipulation der Zeit.

### Einfluss des Schläfrigkeitslevel auf die Übernahmezeit

- Übernahmezeiten (Hands-on und Driver-intervention time) werden geringfügig schneller (nicht signifikant); aber: Beobachtung von z.T. schreckhaften Reaktionen bei höheren Schläfrigkeitslevel

- Fazit: Es konnte kein Schläfrigkeitseffekt hinsichtlich der Hands-on sowie der Driver-intervention time festgestellt werden.

## Studie B (N = 71)

**Abstract:** Darauf aufbauend wurde in Studie B untersucht, inwiefern fahrfremde Tätigkeiten (ffT) als Option einer fahrerzustandsbezogenen Strategie ein geeignetes Mittel zur Reaktivierung sind. Hier zeigte sich sowohl bzgl. der Reaktivierung als auch bzgl. der Effektivität (Wirksamkeitsdauer) ein positiver Einfluss von ffT auf das Drowsinesslevel. Gemäß des DMCs würden solche Strategien in Abhängigkeit des Drowsinesslevel ausgelöst werden, um eine Bevormundung des Nutzers so gut als möglich zu vermeiden. Dies bedeutet aber auch, dass ein solches Konzept sehr stark von der Zuverlässigkeit eines Driver-Monitoring-Systems (DMS) abhängig ist.

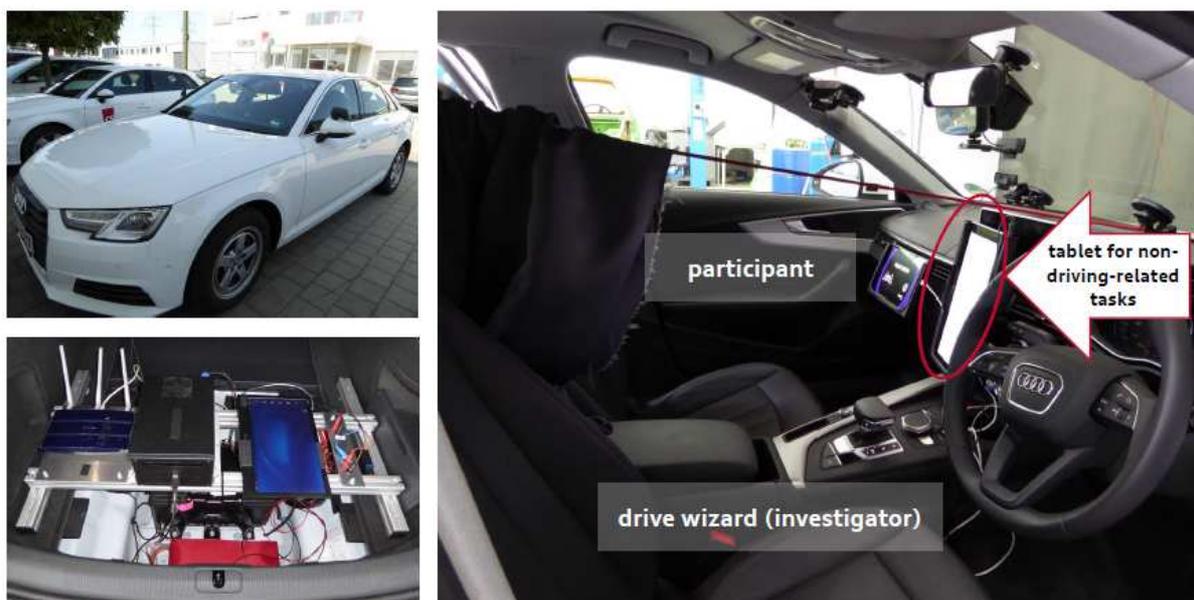
*Veröffentlichung: Weinbeer, V., Muhr, T., & Bengler, K. (2019). Automated driving: The potential of non-driving-related tasks to manage driver drowsiness. In S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, & Y. Fujita (Eds.), Proceedings of the 20th congress of the international ergonomics association (IEA 2018) (pp.179-188). Cham: Springer International Publishing. (oral presentation on August 29th, 2018 in Florence)*

Die Ergebnisse der Studien zum Thema Drowsiness waren Bestandteil einer partnerübergreifenden Veröffentlichung.

*Veröffentlichung: Radlmayr, J., Feldhütter, A., Frey, A., Jarosch, O., Marberger, C., Naujoks, F., Weinbeer, V., & Bengler, K. (2019). Drowsiness and fatigue in conditionally automated driving towards an integrative framework. In D. de Waard et al. (Eds.), Proceedings of the human factors and ergonomics society europe chapter 2018.*

### Methode

In Studie B wurde erneut ein Rechtslenker (AUDI A4) zur Simulation einer L3-Fahrt verwendet (siehe Abbildung 20).



**Abbildung 20:** Versuchsfahrzeug Studie B

## Stichprobe

Insgesamt nahmen 71 Probanden an der Studie teil (24 Frauen / 47 Männer). Das Durchschnittsalter lag bei 32 Jahren. Die Probanden besaßen ihren Führerschein im Mittel seit 14 Jahren.

## Schläfrigkeitsbewertung

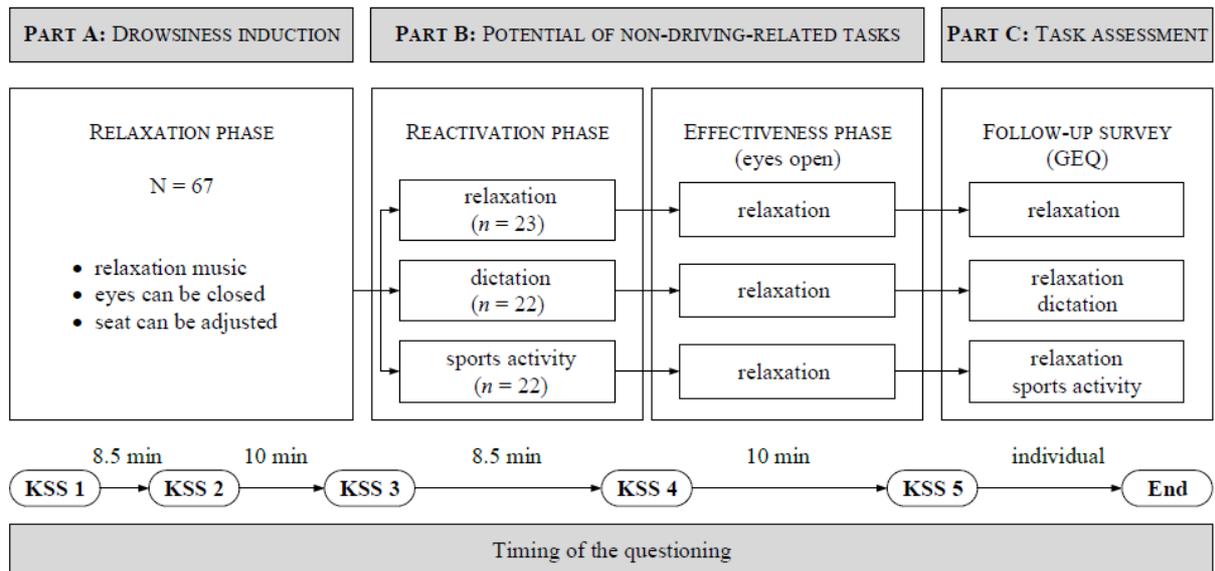
In dieser Studie schätzten die Probanden ihr Schläfrigkeitslevel selbst ein. Dafür wurde die Karolinska-Sleepiness Scale (KSS) verwendet. Diese ist in Tabelle 4 dargestellt.

**Tabelle 4:** Karolinska-Sleepiness Scale (KSS)

1	extremely alert
2	
3	alert
4	
5	neither alert nor sleepy
6	
7	sleepy - but no difficulty remaining awake
8	
9	extremely sleepy - fighting sleep

## Studiendesign

Ziel der Studie B war es, das Reaktivierungspotential sowie die Effektivität einer Reaktivierung zu untersuchen. Dafür wurde das folgende Studiendesign verwendet (siehe Abbildung 21). Die Schläfrigkeitsbewertung fand zu den Zeitpunkten (KSS 1, KSS 2, KSS 3, KSS 4 und KSS 5) statt.



**Abbildung 21:** Versuchsdesign und Befragungszeitpunkte

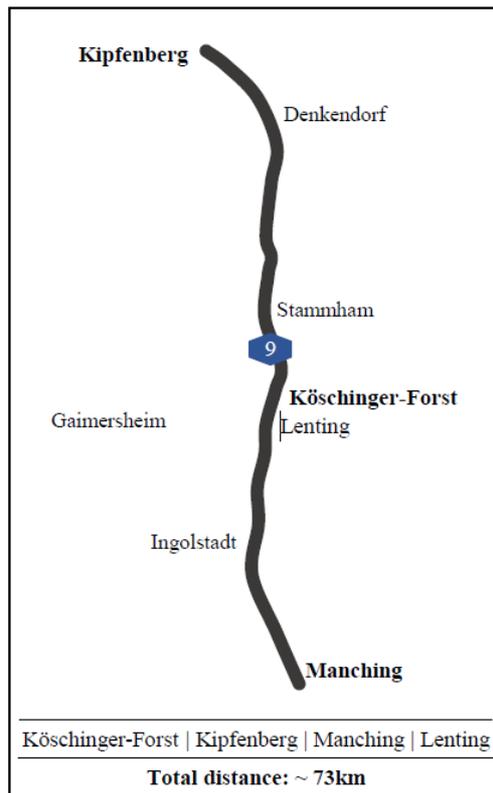
### Versuchsablauf

Um Schläfrigkeit zu induzieren, wurden die Probanden zunächst gebeten, sich so gut als möglich zu entspannen. Im Versuchsteil A durften die Probanden dafür zusätzlich die Augen schließen. Anschließend führten die Probanden in Abhängigkeit ihrer Gruppe eine fahrfremde Tätigkeit durch. Eine Gruppe hatte weiterhin die Aufgabe, sich so gut als möglich zu entspannen (ab diesem Zeitpunkt sollten jedoch die Augen geöffnet bleiben), eine weitere Gruppe tippte verschiedene Wörter in ein Tablet ein (Diktatgruppe) und eine Gruppe führte eine sportliche Tätigkeit (Sportgerät: Handytrim) durch.

Im Anschluss an die Reaktivierungsphase wurden die Probanden erneut gebeten, sich so gut als möglich zu entspannen. Dadurch wurde untersucht, ob die Reaktivierung über die eigentliche Reaktivierungsphase hinaus bestehen bleibt.

### Teststrecke

Der Versuch startet am Rastplatz Köschinger-Forst. Abbildung 22 zeigt den Verlauf der Teststrecke.



**Abbildung 22:** Teststrecke Studie B

## Ergebnisse

Studie A zeigte, dass eine zustandsabhängige Analyse erforderlich ist. Daher wurden die Verteilungsfunktionen der unterschiedlichen Gruppen zum Zeitpunkt KSS 4 und KKS 5 berechnet.

Im Rahmen dieser Studie wurde angenommen, dass ein Schläfrigkeitslevel  $KSS > 7$  eine andere Systemgrenze eines L3-Systems darstellen würde.

$$KSS_{rating} = \begin{cases} x \leq 7 & \text{Schläfrigkeit wird nicht als Systemgrenze angenommen} \\ x > 7 & \text{Schläfrigkeit wird als Systemgrenze angenommen} \end{cases}$$

Es zeigte sich, dass nach der Reaktivierungsphase kein Proband der Diktat- und der sportlichen Aktivitätsgruppe ein KSS-Level  $> 7$  erreichte, während in der Entspannungsgruppe 33.34 Prozent ein KSS-Level  $> 7$  erreichten (siehe Abbildung 23 oben).

In der Effektivitätsphase stieg der Anteil der Probanden, die ein KSS-Level  $> 7$  erreichten, in der Entspannungsgruppe auf 38.89 Prozent an. In der Diktat- bzw. der sportlichen Aktivitätsgruppe kam es zu einem Anstieg auf 10.52 Prozent (Diktat) und 15 Prozent (sportliche Tätigkeit) (siehe Abbildung 23 unten).

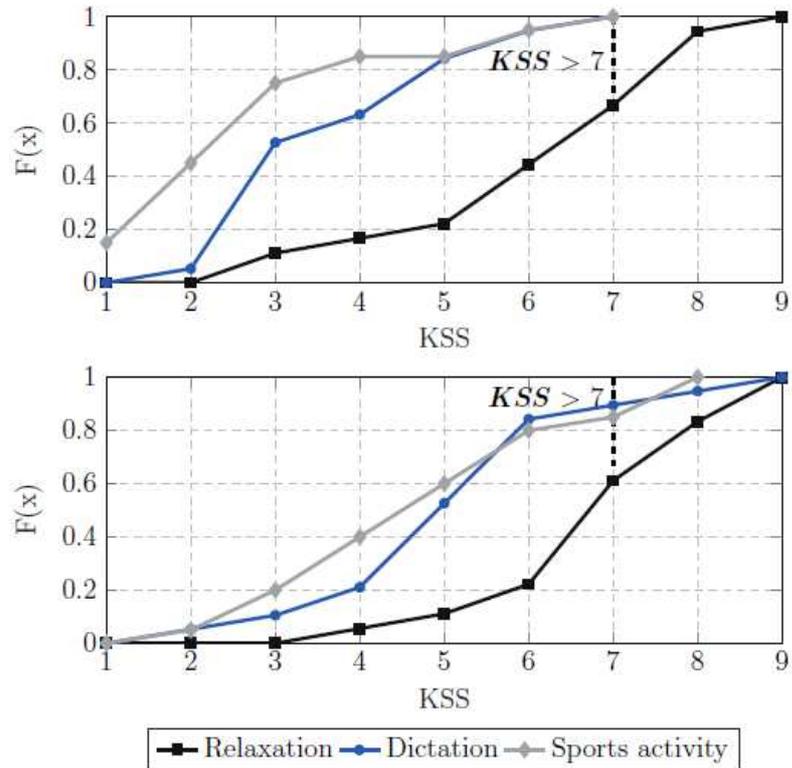


Abbildung 23: KSS-Bewertung nach KSS 4 und KSS 5

## Fazit

### Reaktivierungspotential

- Es konnte ein reaktivierender Einfluss von bestimmten fahrfremden Tätigkeiten festgestellt werden.

### Effektivität

- Die Reaktivierung wirkte sich über die eigentliche Reaktivierungsphase positiv auf das Schläfrigkeitslevel aus.

# Studie C (N = 24)

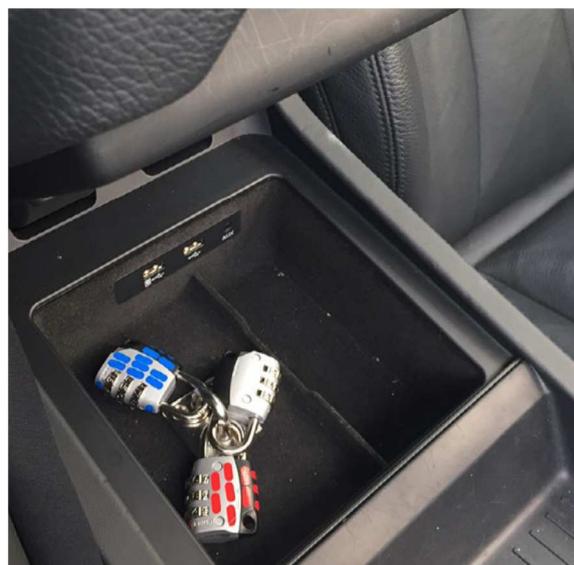
**Abstract:** Ziel der Studie C war es, zu untersuchen, inwiefern verschiedene Konzepte geeignet sind, um mit Unsicherheiten eines DMS (auch unabhängig vom Drowsinesslevel) umgehen zu können bzw. auf welche Weise Feedback über eine DMS-Unsicherheit und einer damit verbundenen Systemanpassung aus Nutzersicht gegeben werden sollte. Insbesondere die Berücksichtigung des Nutzervertrauens sowie der Nutzerakzeptanz spielt hier eine entscheidende Rolle.

## Versuchsfahrzeug

In Studie C wurde erneut der AUDI Q7 Rechtslenker zur Simulation einer L3-Fahrt verwendet. Da im Rahmen der Studie C verschiedene Konzepte untersucht werden sollten, wurde ein Kombiinstrument in das Fahrzeug integriert (siehe Abbildung 24).



**Abbildung 24:** Kombiinstrument in AUDI Q7 Rechtslenker



**Abbildung 25:** Zahlenschlossaufgabe

## Konzepte

Auf dem Kombiinstrument wurden unterschiedliche Konzepte angezeigt (siehe Abbildung 26 und Abbildung 27). Durch eine fahrfremde Tätigkeit (Zahlenschlossaufgabe – siehe Abbildung 25), die eine starke Abwendung erforderte, wurde eine DMS-Unsicherheit simuliert. Ziel dieser fahrfremden Tätigkeit war es, ein plausibleres DMS-Verhalten abzubilden.

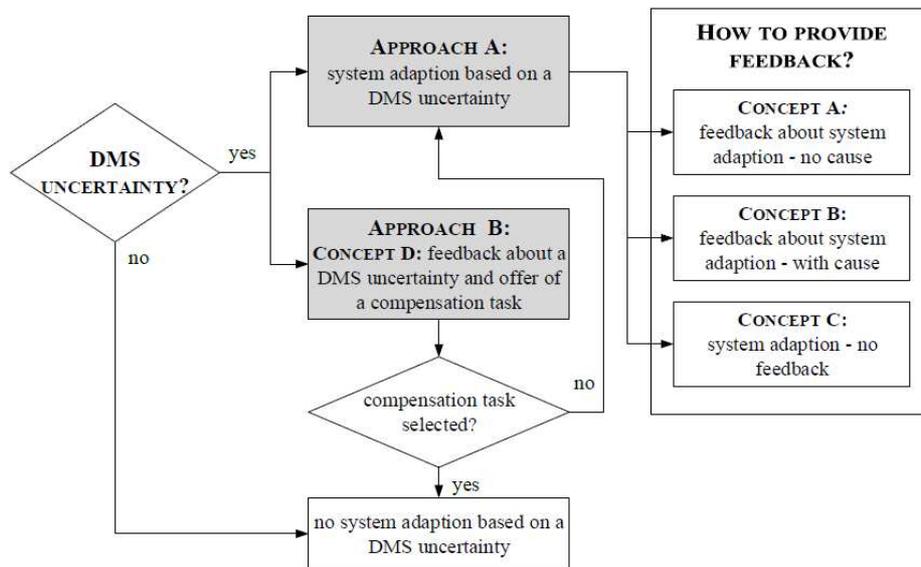


Abbildung 26: Management von DMS-Unsicherheitsperioden

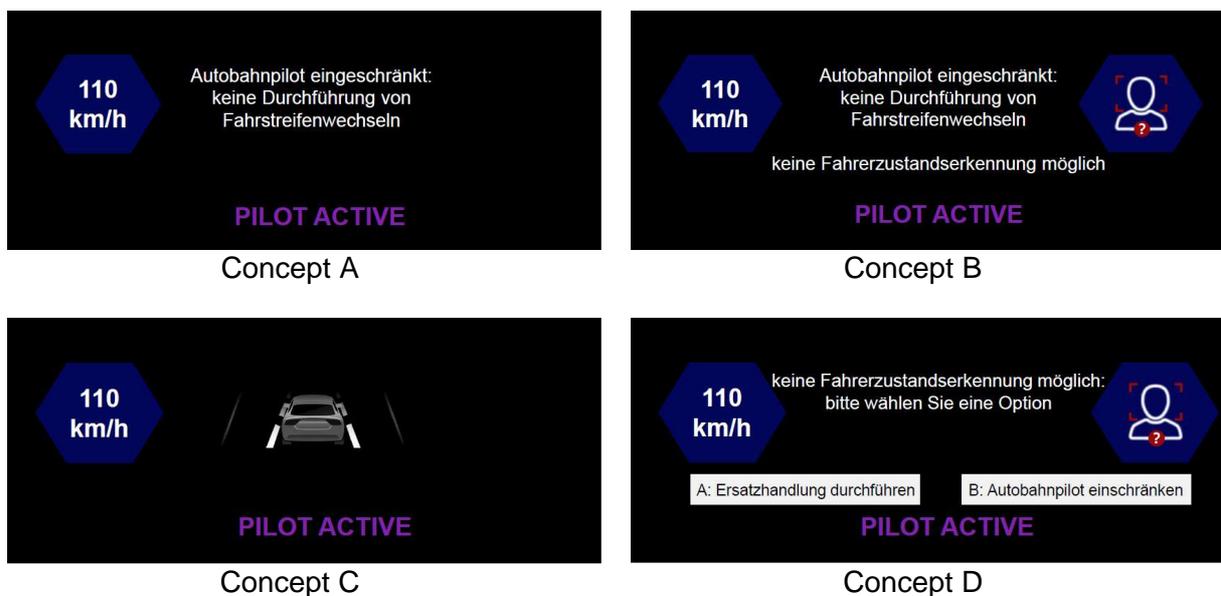
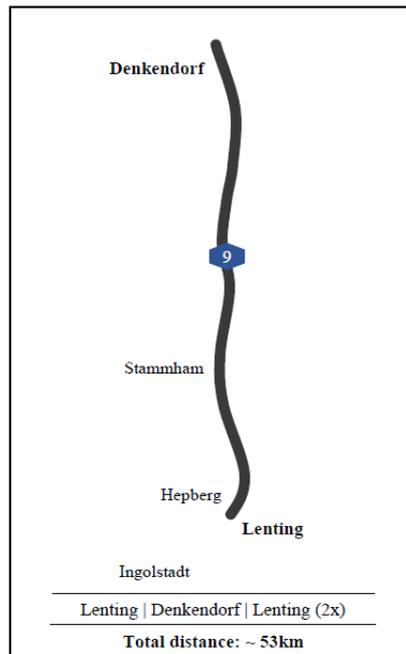


Abbildung 27: Konzepte Studie C





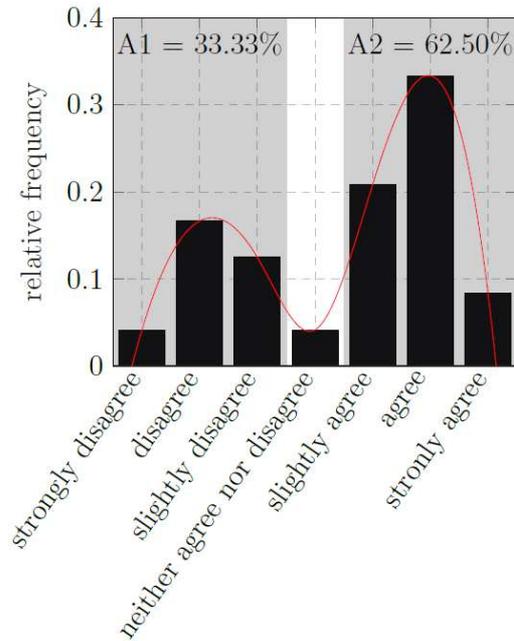
**Abbildung 29:** Teststrecke Studie C

### **Versuchsablauf**

Während des Versuchs wurden die Probanden gebeten, solange nach draußen zu schauen (4 Minuten), bis sie durch eine APP zur Durchführung der Zahlenschlossaufgabe aufgefordert werden. Anschließend sollten sie diese Aufgabe durchführen. Während diese durchgeführt wurde, wurde eines der vier Konzepte (gemäß dem Permutationsplan) ausgelöst. Im Anschluss wurden die Probanden gebeten, ihr Systemvertrauen sowie ihre Systemakzeptanz zu bewerten.

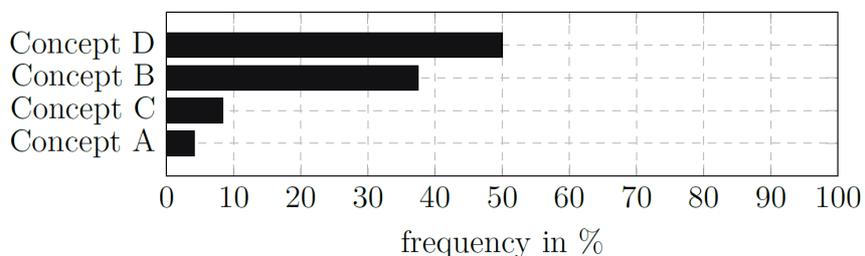
### **Ergebnisse**

Es zeigte sich, dass eine Auswahloption (Fahrerbeobachtungskamera ON/OFF) die Präferenz fast aller Nutzer abdecken würde (siehe Abbildung 30).



**Abbildung 30:** „Ich möchte kontinuierlich darüber informiert werden, wenn eine Fahrerbeobachtungskamera aktiv ist.“

Zudem wurde deutlich, dass das Angebot einer Ersatzhandlung eine sinnvolle und akzeptierte Alternative im Vergleich zu einer Systemanpassung sein kann. Denn 63 % der Probanden entschieden sich dazu, eine Ersatzhandlung durchzuführen, wenn ihnen Konzept D im Fall einer DMS-Unsicherheit präsentiert wurde. Zudem wurde die Nützlichkeit des automatisierten Systems am höchsten bewertet, wenn Konzept D im Fall einer simulierten DMS-Unsicherheit ausgelöst wurde. Des Weiteren zeigte sich im Vergleich zu Konzept C (kein Feedback) ein signifikanter Unterschied in der Bewertung der Systemakzeptanz (Usefulness) zugunsten von Konzept D (siehe Abbildung 32). Für den Fall, dass eine Ersatzhandlung nicht ausgewählt wurde und eine Systemanpassung erforderlich gewesen wäre, zeigte sich, dass Konzept B (Systemanpassung mit Ursache) von den Probanden am meisten präferiert wurde (siehe Abbildung 31).



**Abbildung 31:** Welches Konzept sagte Ihnen am meisten zu? - Platz 1

Systemvertrauen und -misstrauen unterschied sich zwischen den verschiedenen Konzepten nicht signifikant (siehe Abbildung 32).

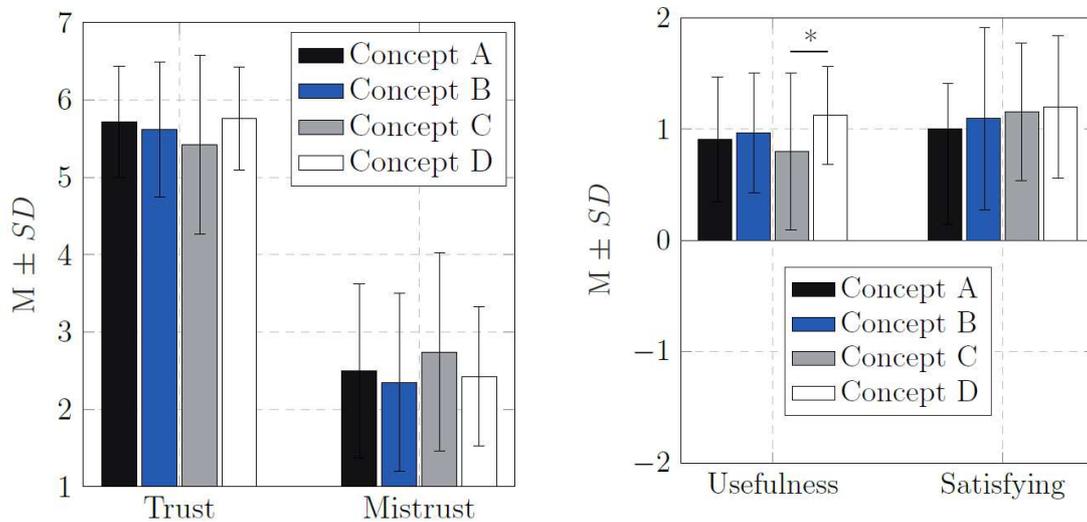


Abbildung 32: Ergebnisüberblick

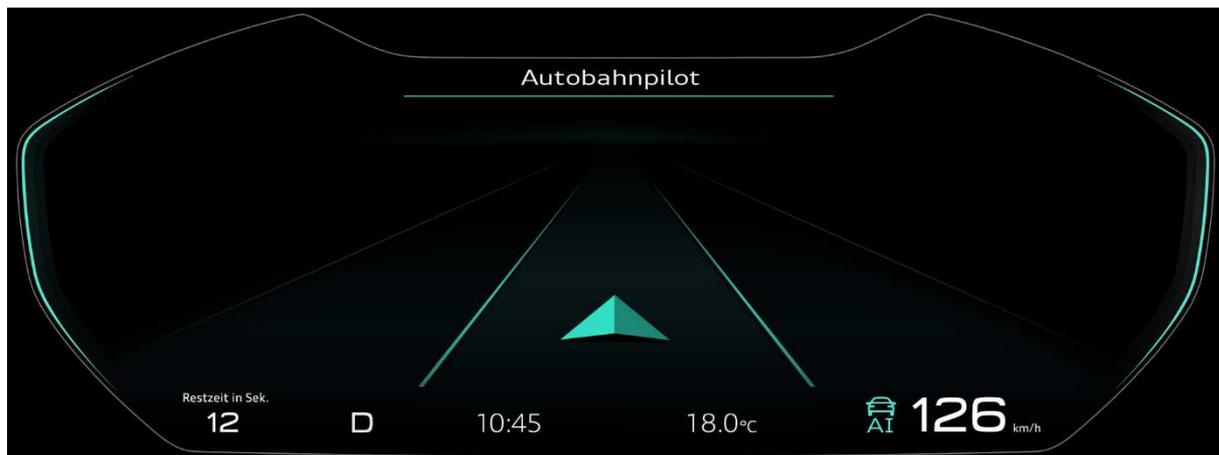
#### Fazit:

- Es zeigte sich kein Unterschied in der Systemvertrauens- und der Systemmisstrauensbewertung in Abhängigkeit der verschiedenen Konzepte.
- Durch das Angebot einer Ersatzhandlung kann eine Systemanpassung häufig vermieden werden.
- Das Konzept der Ersatzhandlung wurde am besten bewertet. Zudem zeigte sich ein signifikanter Unterschied bzgl. der Nützlichkeit eines automatisierten Systems zwischen Concept C (kein Feedback) und Concept D (Auswahloption + Ersatzhandlung).

Falls eine Systemanpassung erforderlich ist, wünschen sich Probanden eine Information über die konkrete Ursache der Systemanpassung.

### 3.3.3 UAP3.3 Integration der Transitionskonzepte für HAF und deren Bewertung

Die Anforderungen an das Human-Machine-Interface (HMI) für ein Demofahrzeug der AUDI AG wurden arbeitspaketübergreifend AUDI-intern gesammelt. Das Fahrzeug wurde im Rahmen der Abschlusspräsentation gezeigt. Die Klärung der darzustellenden Szenarien, der Systemzustände sowie des Transitionskonzepts erfolgte gemeinsam mit den AUDI-Kollegen, die in AP2 und AP4 tätig waren. Im Demofahrzeug wurden sowohl die verschiedenen Systemzustände (u.a. Pilot aktiv (z.B. Abbildung 33), Pilot nicht aktiv, Übernahmeaufforderung) und Szenarien (u.a. Autobahnauffahrt, Fahrstreifenwechsel, Autobahnabfahrt) als auch Ko-HAF-spezifische Features, wie z.B. das Melden einer Gefahrenstelle an den Safety-Server, mithilfe einer visuellen Anzeige dargestellt. Zudem gab es während der Fahrt die Möglichkeit, die fT „Film schauen“ durchzuführen. Das Ko-HAF-Demovideo wurde dann abgespielt.



**Abbildung 33:** Pilot aktiv

### **3.3.4 UAP3.4 Empfehlungen zu Methoden und Interaktionskonzepten**

Basierend auf den in UAP3.2 durchgeführten Studien wurden verschiedene Kenntnisse zur Wizard-of-Oz-Methodik sowie zur Untersuchung des Fahrerzustands Drowsiness bei einer L3-Fahrt gesammelt. Diese wurden im Rahmen des UAP3.4 zur Verfügung gestellt und im Rahmen eines Wizard-of-Oz-Workshops eingebracht.

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

Erwartungsgemäß lag der Schwerpunkt der Arbeiten der AUDI AG im Förderprojekt Ko-HAF auf der Umsetzung neuer hochautomatisierter Fahrfunktionen. Dazu wurden Entwicklung und Ergebnisse aus den anderen Ko-HAF-Teilprojekten (Digitale Karte und Ortung, Einbindung des Fahrers in eine HAF-Funktion sowie neue Testmethodiken) verwendet.

### **3.4.1 UAP4.1 Kooperative Umfeldmodellierung im Fahrzeug (Objekt-/Gridfunktion), Situationsanalyse und –bewertung**

Im UAP4.1 lag bei der AUDI AG der Fokus der Umfeldwahrnehmung und Situationsinterpretation auf den UseCases „Auf- und Abfahren auf eine Autobahn“ und „Kooperative Erkennung und Meldung potentieller Gefahrenstellen via Backend“ an andere Verkehrsteilnehmer.

Für die Generierung des statischen Umfeldmodells wurden neben rein auf Umfeldsensordaten basierenden Informationen auch Informationen aus der digitalen Karte herangezogen und fusioniert. Dies geschah seitens Audi in enger Abstimmung mit AP2.

Bei der Erkennung von Objekten in den einzelnen Fahrstreifen hat sich gezeigt, dass die ursprünglich verbauten Short-Range-Radarsensoren leider nicht die erhoffte Performance geboten haben. Daher wurden diese durch bewährte Seriensensoren ausgetauscht, die für den

Anwendungsfall (Auffahren auf die Autobahn) ausreichend sind. Auf Basis dieser neu verbauten Sensoren wurde das Objekttracking und die Fusion in ein konsistentes 360° Umfeldmodell weiterentwickelt und verbessert, so dass die für die geplanten Anwendungsfälle notwendigen Informationen über die umgebenden beweglichen Objekte zur Verfügung standen.

Bezüglich der Erkennung und des Trackings von dynamischen Objekten wurde die Verfolgung von Fahrzeugen in den Nachbarfahrstreifen vorangetrieben. Aufbauend auf den Objekt-Informationen wurde zum Einfädeln die Lücke zwischen zwei Fahrzeugen in den Nachbarfahrstreifen gebildet und jeder Lücke ein Dynamikmodell zugeordnet. Dieses Modell dient dem Tracking-Algorithmus zur Prädiktion der Lücken.

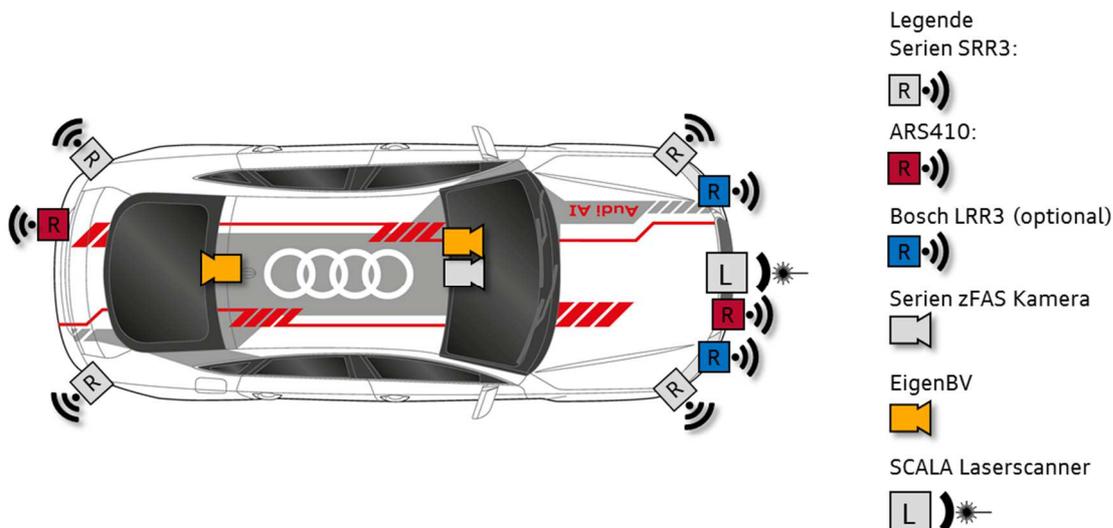
Für die Fahrbahninfrastrukturerkennung wurde insbesondere die Erkennung und das Tracking der Auf- und Abfahrrampen angepasst, so dass die Straßenverläufe mit den sehr engen Radien in Auf- und Abfahrten auch rein sensorisch (auf Basis der fahrzeugeigenen Sensoren) detektiert werden können. Zum zweiten wurde die rein auf Umfeldsensoren (primär Video) basierende Erkennung des Beschleunigungsstreifens optimiert. Als Basis hierfür dienten auch Informationen aus der digitalen Karte, die als a-priori-Wissen für die Umfeldwahrnehmung dienten und bei erfolgreicher plausibler Assoziation fusioniert wurden, insbesondere um die Vorausschau zu erweitern.

Im Rahmen des Situationsverstehens wurden dynamische Objekte und die statischen Fahrbahninfrastrukturinformationen in Bezug zueinander gesetzt. Hierzu wurden zum einen zunächst aus den erkannten Fahrstreifenbegrenzungsverläufen und via digitaler Karte angereicherten Verläufen plausible Fahrkorridore gebildet. Diesen Fahrkorridoren wurden dann zyklisch die Objekte zugeordnet. Aus den Historien der Objekte können Indizien zur Klassifikation aktuell durchgeführter Fahrmanöver extrahiert werden. Welche auch zur Prognose zukünftigen Verhaltens verwendet werden.

Als ein weiteres Thema in der Erkennung von Objekten wurde die Erkennung von statischen Hindernissen am Beispiel einer Skibox umgesetzt. Während der Vorbeifahrt werden statische Objekte auf den Nachbarfahrstreifen detektiert. Diese Information wird an die funktionalen Module des AP2 weitergeleitet, die die Information wiederum an den Safety Server weiterleiten.

Diese Information einer lokalen Gefahrenstelle wurde im UAP4.3 von Projektpartnern verwendet, um eine strategische Reaktion auszulösen. Audi setzt zwar im UAP4.3 keine eigene Fahrfunktion um, stellt aber zusammen mit den Audi-Kollegen aus AP2 diese Information (erkanntes Hindernis) dem Backend und somit nachfolgenden Fahrzeugen zur Verfügung. Hierzu werden die in UAP1.2 und UAP2.1 beschriebenen Mechanismen verwendet. Andere Projektpartner im AP4 konnten darauf aufbauend ihre Funktionen im UAP4.3 realisieren.

Zur Erfüllung aller Anforderungen an die Umfeldsensorik und –wahrnehmung ergab sich das in Abbildung 34 dargestellte Sensorset, welches so in das Ko-HAF Erprobungsfahrzeug der AUDI AG integriert wurde.



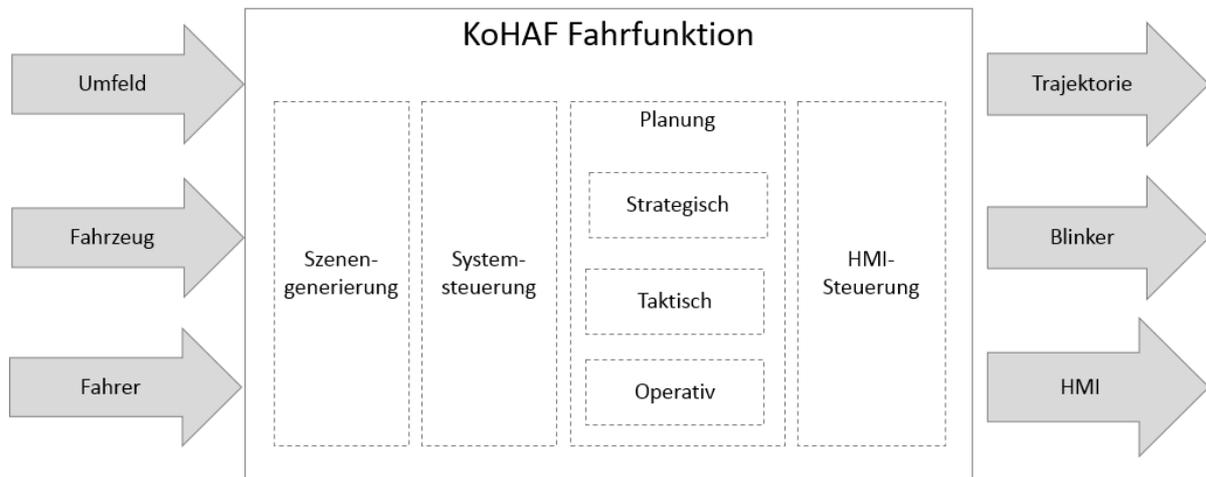
**Abbildung 34:** Sensorset für die Erkennung und Verfolgung dynamischer Objekte rund um das Ego-Fahrzeug, die Erkennung der Fahrstreifen auf der Autobahn und der Auf- und Abfahrt und für die Befüllung einer Belegungskarte zur Akkumulation von Randbegrenzungsverläufen und Hindernissen.

### 3.4.2 UAP4.2 Normalfunktionen

Seitens Audi wurde das Einfädeln in eine Kolonne umgesetzt. Diese Fahrfunktionalität wird in unterschiedlichen Szenarien benötigt. So ist ein Einfädelvorgang notwendig, wenn auf eine Autobahn aufgefahren wird und das Fahrzeug vom Beschleunigungsstreifen in eine Kolonne auf dem rechten Fahrstreifen einfädeln muss. Ein ähnliches Manöver ist notwendig, wenn man an einem Autobahnkreuz die Autobahnen wechselt. Darüber hinaus gibt es noch etliche weitere Szenarien, wo eine Einfädelfunktionalität notwendig ist. Aufgrund dieser Relevanz hat sich Audi entschieden, im Rahmen von Ko-HAF das Einfädeln als hochautomatisierte Fahrfunktionalität umzusetzen.

Die Audi Ko-HAF Funktionalität besteht aus vier Hauptbestandteilen (siehe Abbildung 35):

1. In einer ersten Komponente werden alle Informationen über die aktuelle Szene aus Fahrzeugumfeld und das Ego-Fahrzeug modelliert.
2. Zusammen mit den Eingaben des Fahrers und der Eigendiagnose wird in der Systemsteuerung der Gesamtzustand der Ko-HAF-Funktion ausgewählt.
3. Das Fahrverhalten wird in drei Planungsebenen der dritten Komponente berechnet.
4. Die HMI-Ansteuerung als letzter Block bestimmt aus Szene, Systemsteuerung und Planung akustische und optische Signale für den Fahrer.



**Abbildung 35:** Funktionale Architektur der Ko-HAF-Fahrfunktion

### Szenengenerierung

Innerhalb der Szenengenerierung werden alle Informationen über das Fahrzeug und dessen Umfeld aufbereitet und in einer Schnittstelle abgelegt.

Die Szenenschnittstelle enthält widerspruchsfreie, interpretierte Informationen über den Verlauf der Fahrbahninfrastruktur mit deren Attribute. Zu jedem Fahrstreifen wird ein krümmungsstetiger Referenzpfad gebildet, der für die Planung sowohl als Ziel als auch als Bezugssystem des Frenet-Koordinatensystems dient. Typischerweise liegt die Referenzbahn in der Mitte eines Fahrstreifens. Fahrbahnattribute sind Verkehrszeichen, Haltelinien, Fahrstreifenenden oder Ähnliches.

Ein weiterer ortsfester Bestandteil der Szene ist eine Hinderniskarte, die entlang des Fahrbahnverlaufes gekrümmt ist.

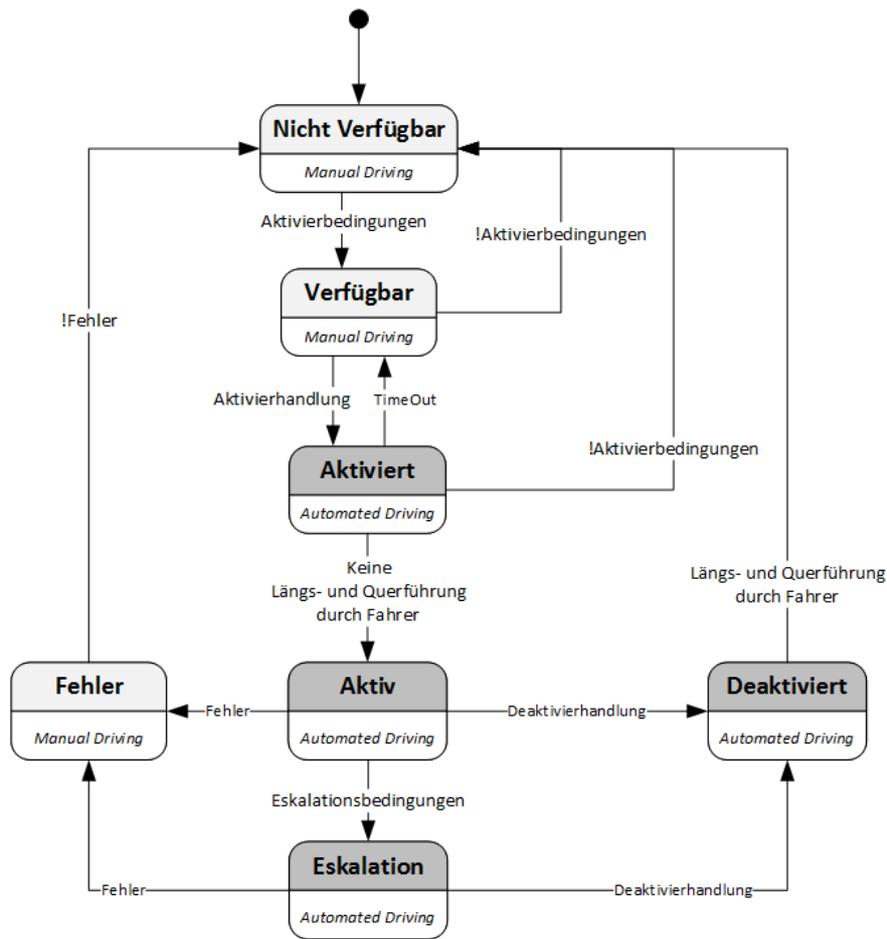
Neben den rein statischen Informationen enthält die Szene dynamische Objektinformationen und die Zuordnung von diesen Objekten zu Fahrstreifen. Jede Objekt-Fahrstreifen-Zuordnung beschreibt die Position des Objektes in Frenet-Koordinaten bezogen auf den Referenzpfad. Die Zuordnung enthält auch eine Wahrscheinlichkeit der Überlappung zwischen der Fläche unter dem Fahrzeug und der Fläche des Fahrstreifens.

Das „Ego“-Fahrzeug wird in der Szenenschnittstelle ähnlich den wahrgenommenen Objekten repräsentiert. Ziel der Szenenschnittstelle ist es, eine zentrale Schnittstelle über das Fahrzeugumfeld zu einem synchronisierten Zeitpunkt der nachgelagerten Verarbeitungskette bereitzustellen.

### Systemsteuerung

Ein Zustandsautomat steuert auf oberster Ebene den Gesamtzustand der Funktion. Für Ko-HAF wurden folgende Zustände verwendet (siehe Abbildung 36):

- Nicht verfügbar
  - Das System ist nicht aktivierbar, da die Aktivierungsbedingungen nicht erfüllt sind. Ein Beispiel für eine fehlende Aktivierungsbedingung ist, dass die Strecke innerhalb der Karte für eine hochautomatisierte Fahrfunktion nicht freigegeben ist (HAD-Attribut).
  - Längs- und Querführung des Fahrzeuges durch Fahrer
- Verfügbar
  - Alle Aktivierbedingungen des Systems sind erfüllt. Die Funktion kann vom Fahrer aktiviert werden.
  - Längs- und Querführung des Fahrzeuges durch Fahrer
- Aktiviert
  - Das System wurde durch eine Aktivierhandlung aktiviert, der Fahrer führt aber noch längs und/oder quer das Fahrzeug.
  - Längs- und Querführung des Fahrzeuges durch Fahrer und Funktion
- Aktiv
  - Das System ist aktiv und steuert das Fahrzeug.
  - Längs- und Querführung des Fahrzeuges durch Funktion
- Eskalation
  - Das System ist aktiv, möchte aber wegen erfüllten Deaktivierungsbedingungen die Fahraufgabe an den Fahrer übergeben. In mehreren Stufen wird die Übergabeaufforderung intensiviert. Für Ko-HAF wurden drei Stufen umgesetzt:
    - Stufe 1: Optische Anzeige im Display
    - Stufe 2: Optische Anzeige im Display und akustische Warntöne.
    - Stufe 3: Optische und akustische Hinweise. Durchführung von mehreren Warnrücken.
  - Längs- und Querführung des Fahrzeuges durch Funktion
- Deaktiviert
  - Das System wurde durch eine Deaktivierungshandlung beendet. Die Fahraufgabe wird an den Fahrer übergeben.
  - Längs- und Querführung des Fahrzeuges durch Fahrer und Funktion
- Fehler
  - Die Eigendiagnose des Systems hat einen Fehler erkannt. In der Eigendiagnose werden alle relevanten Signale auf Latenz, Rate, Fehler und Widerspruchsfreiheit überwacht.
  - Längs- und Querführung des Fahrzeuges durch Fahrer



**Abbildung 36:** Schematische Darstellung des Zustandsautomaten

### Strategische Planung

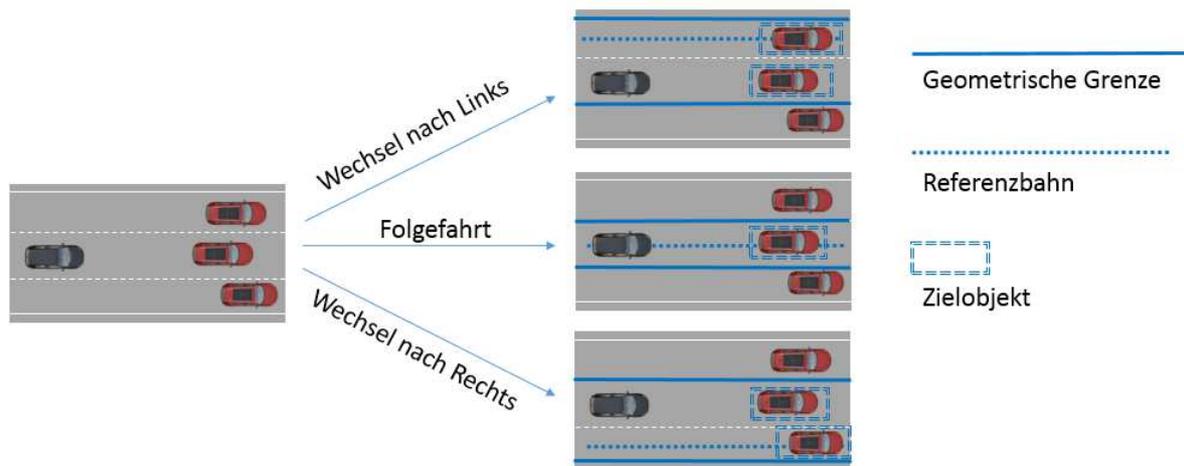
In der strategischen Planungsebene wird das langfristige zukünftige Verhalten adressiert. Üblicherweise werden hier die Routinginformationen aus dem Navi des Fahrzeuges ausgewertet.

Für Ko-HAF war das Auslesen der Route aus den verbauten Navigationsgeräten nicht möglich, da in deren Karte das Prüfgelände von Opel in Dudenhofen nicht enthalten war. Um die Route nachzubilden, wurde für Ko-HAF ein Verlassen der Autobahn an der nächst möglichen Ausfahrt codiert.

### Taktische Planung

Die taktische Verhaltensplanung berücksichtigt einen Zeithorizont von mehreren Sekunden und erzeugt als Ergebnis einen taktischen Plan, der eine Abfolge von Manövern enthält. Für Ko-HAF wurde ein Set aus drei Manövern verwendet: Fahrstreifen folgen, Wechsel nach links, Wechsel nach rechts.

Jedes Manöver wird von der Taktik situationsabhängig mit unterschiedlichen Parametrisierungen (z.B. maximale Querdynamik) und Zielen versehen. Ziele sind Referenzbahn, Zielobjekte, geometrische Grenzen, Zielgeschwindigkeit und/oder Zielpunkte. Zielpunkte sind beispielsweise Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Haltepunkte, die frühzeitig berücksichtigt werden können. In der Abschlussdemonstration wurde auf mehrere Verkehrsschilder frühzeitig reagiert. Die folgende Abbildung 37 zeigt, wie aus einer Szene für jedes Manöver unterschiedliche Ziele generiert werden.



**Abbildung 37:** Ziele und Parameter aus der Taktik an die Trajektorienplanung

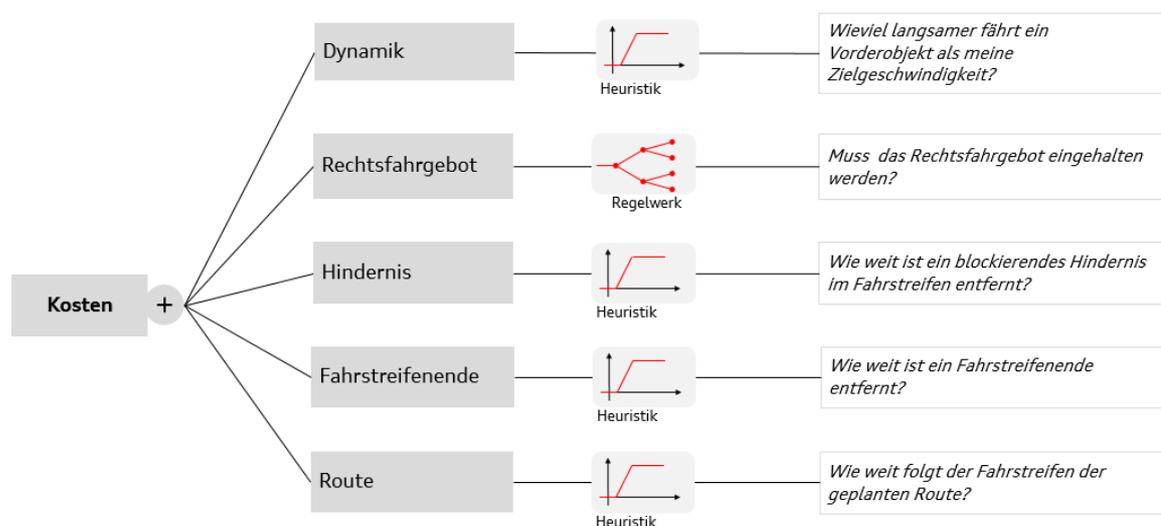
Insgesamt werden folgende Ziele der Operativen Planung übergeben:

- Referenzbahn
  - Die Referenzbahn wird der Trajektorienplanung als Ziel übergeben
- Geometrische Begrenzung des Planungsraumes
  - Die Begrenzungen schränken den Raum der Planung ein und verhindern, dass auf operativer Ebene ein Plan erstellt wird, der den Fahrstreifen verlässt.
- Zielobjekte
  - Die Taktik wählt aus der Szene relevante Objekte aus und übergibt sie der Trajektorienplanung. Dabei wird zwischen unterschiedlichen Zielobjekttypen unterscheiden: Alle Objekte vor dem Fahrzeug werden als querplanungsrelevant markiert. Fahrzeuge, auf die das Ego eine Zeitlücke aufbauen oder halten soll, werden gekennzeichnet. Außerdem markiert das Taktikmodul Verkehrsteilnehmer, um das Rechtsüberholen zu verhindern.

- Zielpunkte
  - Durch Zielpunkte steht die Möglichkeit offen, der Trajektorienplanung mitzuteilen, dass das Ego in einer fixen Entfernung eine feste Geschwindigkeit erreichen muss. Auf diesem Weg können Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Haltepunkte frühzeitig berücksichtigt werden.
- Aktuelle Zielgeschwindigkeit

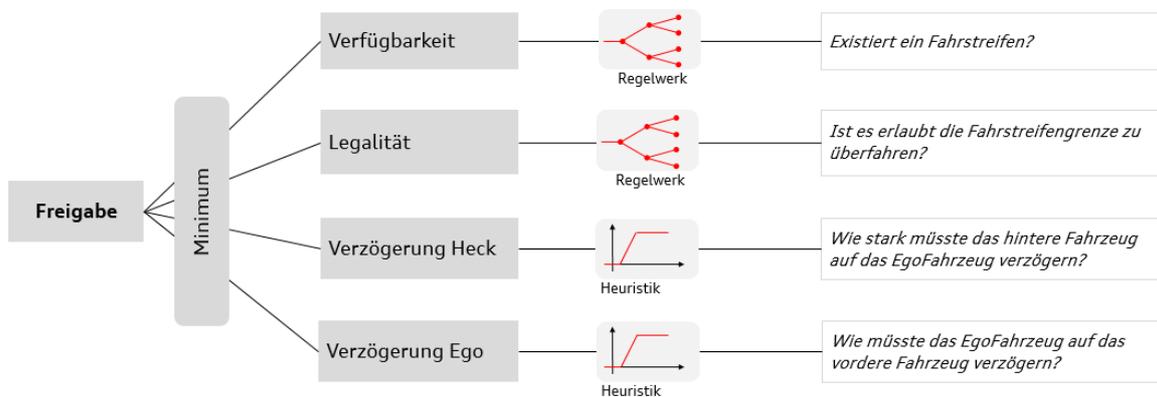
Für jedes Manöver werden Kosten berechnet, die durch das Ausführen der Manöver verursacht werden. Die Gesamtkosten sind die Summe ihrer gewichteten Teilkosten, die aus verschiedenen Aspekten verursacht werden. Die Teilkosten werden durch das Auswerten von Merkmalen in einer Heuristik erzeugt. Für Ko-HAF wurden folgende Aspekte/Merkmale verwendet:

- Dynamik: Die Dynamikkosten drücken aus, wie stark das Ego-Fahrzeug von langsamer fahrenden Vorderfahrzeugen vom Erreichen der Wunschgeschwindigkeit abgehalten wird. Für diesen Aspekt wird als Merkmal die Differenzgeschwindigkeit zwischen Ego und Zielobjekt über eine Kennlinie als Kostenterm abgebildet.
- Rechtsfahrgebot: Diese Kosten stellen sicher, dass das Rechtsfahrgebot eingehalten wird. Als Merkmal wird die Ähnlichkeit zwischen den Gesamtkosten der Manöver verwendet.
- Hindernis: Ein Hindernis, dem nicht im Fahrstreifen ausgewichen werden kann, erzeugt Kosten. Mit sinkender Entfernung zum Hindernis steigen die Kosten.
- Fahrstreifenende: Analog zum Hindernis steigen mit sinkender Entfernung zum Fahrstreifenende die Kosten durch ein Fahrstreifenende.
- Route: Folgt ein Fahrstreifen nicht der geplanten Route, werden Kosten erzeugt.



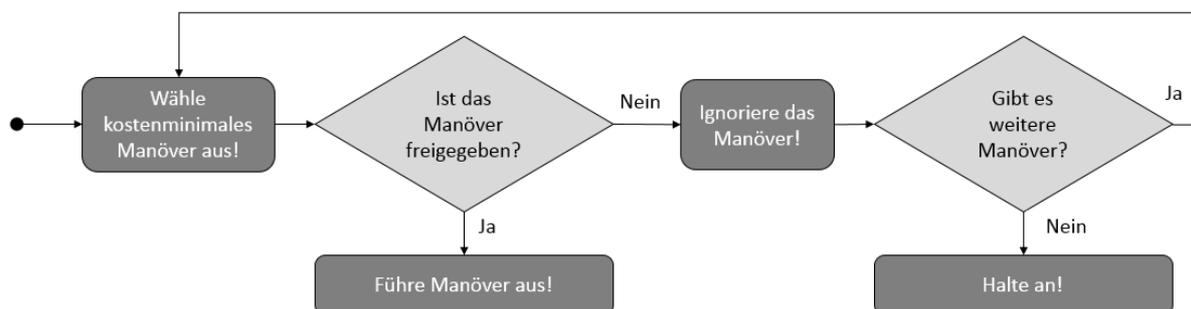
**Abbildung 38:** Bestimmung der Manöverkosten

Neben den Kosten wird auch ein Freigabewert berechnet. Dieser drückt aus, ob das Manöver durchführbar, kollisionsfrei und legal ist. Im Fall der Fahrstreifenwechselmanöver werden potentielle Kollisionen vom rückwärtigen Verkehr auf das Ego bzw. vom Ego auf ein vorderes Fahrzeug bewertet. Als Kenngröße dient die Verzögerung, die benötigt wird, um eine minimale Zeitlücke zwischen den Fahrzeugen zu garantieren. Weitere Kenngrößen sind der Linientyp (Überqueren einer durchgezogenen Linien ist nicht erlaubt) und die Existenz des Fahrstreifens. Alle Kenngrößen werden auf einen Wert zwischen 0.0 und 1.0 abgebildet. Ein Minimum beschreibt die Gesamtfreigabe.



**Abbildung 39:** Bestimmung der Manöverfreigabe

Die Manöverplanung sucht das kostenminimale freigegebene Manöver aus. Falls kein freigegebenes Manöver gefunden wird, wird ein Nothaltemanöver durchgeführt.



**Abbildung 40:** Auswahl des Manövers in der Manöversteuerung

## Operative Planung

Jedes Manöver führt auf operativer Ebene eine eigene Trajektorienplanung aus. Diese gliedert sich in zwei weitgehend unabhängige Planungsschritte, in denen die Längs- sowie die Querbewegung des Fahrzeugs in Frenet-Koordinaten geplant wird. Beide Komponenten werden in Form von quintischen Splines beschrieben. Im Fall der Längsplanung bildet der Spline  $s(t)$  die Zeit  $t$  auf die zu erreichende Lauflänge entlang des Referenzpfades ab, während in der Querplanung  $d(t)$  den aufzubauenden lateralen Versatz zum Referenzpfad angibt.

Die Längsplanung generiert zunächst ein i.d.R. ruckstetiges Geschwindigkeitsprofil, welches einen angemessenen Abstand zum Vorderfahrzeug aufbaut sowie Geschwindigkeitsbegrenzungen und Haltelinien berücksichtigt. Zusätzlich wird sichergestellt, dass – von Extremfällen abgesehen - die gewünschten Ruck- und Beschleunigungsgrenzen nicht verletzt werden.

Das Ergebnis wird an die Querplanungskomponente übergeben, deren Ziel es ist, ruckminimal dem Referenzpfad zu folgen, dabei jedoch dynamischen sowie statischen Objekten auszuweichen. Je nach Manöver ergeben sich unterschiedliche Querbewegungen. Soll das Fahrzeug seinem aktuellen Fahrstreifen folgen, so wird dessen Mittenverlauf aus der Szene ausgelesen und als Referenzpfad übergeben. Ein Fahrstreifenwechselmanöver hingegen setzt den Mittenverlauf des Zielfahrstreifens als Referenzpfad. Falls ein vorausfahrendes Fahrzeug im aktuellen Fahrstreifen vorhanden ist, wird die Dynamik des Fahrstreifenwechsels derart gewählt, dass der Wechsel abgeschlossen wird, bevor der minimale Abstand zum Vordermann unterschritten wird.

## HMI-Ansteuerung

Das HMI-Modul der Ko-HAF-Funktion generiert alle optischen und akustischen Signale für den Fahrer. Dabei werden Informationen über die Szene, den Systemzustand und den aktuellen Planungszustand für den Fahrer aufbereitet und Steuersignale für das frei programmierbare Display (FPK), eine Status-LED auf dem Aktivierungstaster und den Fahrzeuggong generiert (siehe Abbildung 41).

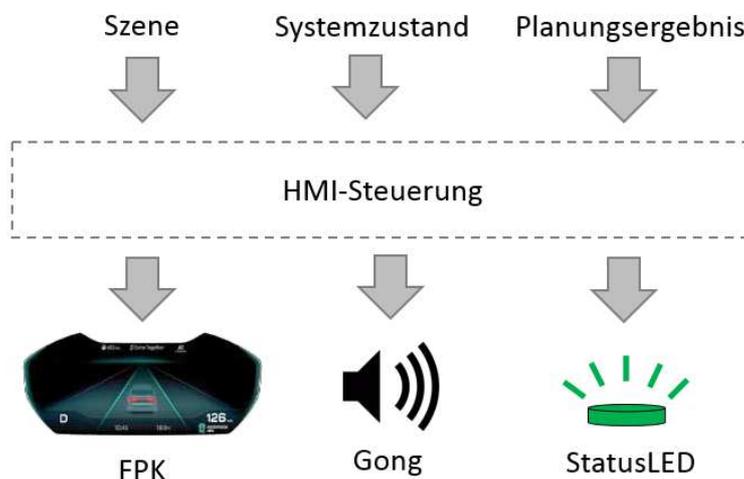


Abbildung 41: HMI-Ansteuerung

## Wirkkettenbeschreibung für die Ko-HAF-Szenarien

In diesem Kapitel soll auf abstrakter Ebene sehr grob die Wirkkette der Ko-HAF-Funktion für ausgewählte Szenarien beschrieben werden.

### 1. Auffahren auf die Autobahn

Die Kooperative Auffahrt auf die Autobahn war ein Szenario, das in der Abschlussdemonstration gezeigt wurde (siehe Abbildung 42). Im Folgenden wird beschrieben, wie die Taktik die Manöver parametrisiert und auswählt.

Ausgangslage im Szenario ist, dass sich das Ego-Fahrzeug mit aktiviertem Zustand auf dem Auffahrtstreifen befindet. Auf der Autobahn fährt auf gleicher Höhe ein zweiter Verkehrsteilnehmer mit konstanter Geschwindigkeit, der das Ego daran hindert, auf die Autobahn zu wechseln.

Das Fahrstreifen-Folge-Manöver ist so parametrisiert, dass das Fahrzeug auf die Richtgeschwindigkeit der Autobahn beschleunigt. Zusätzlich wird ein Haltepunkt am Ende des Fahrstreifens gesetzt, damit das Ego am Ende der Auffahrt anhält. Dadurch, dass der Fahrstreifen endet, entstehen bei den Kostenberechnungen für die Manöver immer höhere Werte für das Folge-Manöver und die Taktik favorisiert das Manöver für den Wechsel auf die Autobahn. Die Manöverfreigabe verhindert jedoch wegen des zweiten Fahrzeuges den Wechsel. Diese Situation bleibt solange bestehen, bis das Ego entweder vor oder hinter dem Fahrzeug mit ausreichendem Sicherheitsabstand einscheren kann. Erreicht das Ego das Ende des Fahrstreifens, reduziert es die Geschwindigkeit und bleibt im Extremfall stehen.



**Abbildung 42:** Abfolge „Auffahren auf die Autobahn“

### 2. Überholvorgang

Als zweites Szenario wurde ein Überholvorgang demonstriert. Der Vorgang ist eine Sequenz aus mehreren Manövern: Folgefahrt → Fahrstreifenwechsel nach links → Folgefahrt → Fahrstreifenwechsel nach rechts → Folgefahrt.

Ausgangslage im Szenario: Das Ego-Fahrzeug fährt auf ein Vorderfahrzeug auf, das langsamer fährt als die Wunschgeschwindigkeit.

Durch das langsame Vorderfahrzeug entstehen dynamische Kosten für das Folgemanöver. Das System entscheidet sich für einen Fahrstreifenwechsel nach links, falls eine Freigabe erteilt wird. Nach abgeschlossenem Fahrstreifenwechsel überholt das Ego das zweite Fahrzeug und wechselt aufgrund des Rechtsfahrgebots in den rechten Fahrstreifen zurück, sobald genügend Sicherheitsabstand aufgebaut wurde.

### 3. Übergabe an den Fahrer

Ein weiteres demonstriertes Szenario war eine systematische Deaktivierung der Funktion durch äußere Einflüsse. Für diese Anwendung wurde in der Karte der Teststrecke das Ende des Streckenabschnittes nicht für die automatisierte Funktion freigegeben. Diese Information wird in der Szenenschnittstelle abgebildet und von der Systemsteuerung ausgewertet. Die Steuerung reagiert auf die fehlende Funktionsfreigabe mit einer Transition in den Eskalationszustand, in dem versucht wird, dem Fahrer die Fahraufgabe zu übergeben. Übernimmt der Fahrer nicht innerhalb einer begrenzten Zeit die Fahrzeugsteuerung, steigern sich die Warnsignale (optisch und akustisch), bis in einer letzten Intensitätsstufe das Fahrzeug Warnrücke ausführt und bis in den Stillstand verzögert.

### 4. Abfahren von einer Autobahn

Die Abfahrt von der Autobahn wurde für Ko-HAF speziell appliziert, da keine Navigationsroute zur Verfügung stand. Als Ersatz für die Route wurde das Freigabeattribut aus den Kartendaten verwendet.

Auf taktischer Ebene wurden bei der Manöverbewertung die Kosten für die Manöver so erhöht, dass bei einer Annäherung an das Ende der Funktionsfreigabe ein Fahrstreifenwechsel nach rechts favorisiert wurde.

### **3.4.3 UAP4.3 Gefahrenstellen**

In diesem Unterarbeitspaket waren seitens der AUDI AG keine Aktivitäten geplant.

### **3.4.4 UAP4.4 Fahrzeug und sicherer Betrieb**

Das UAP4.4 unterteilt sich grundsätzlich in 2 Themengebiete. UAP4.4.1 (Maßnahmen zum Notbetrieb im eignen Fahrzeug) und UAP4.4.2 (Kooperative Maßnahmen hochautomatisierter Fahrzeuge auf Serverdaten) beschäftigen sich mit Maßnahmen für den Fall, dass eine HAF-Funktion nicht mehr aufrechterhalten werden kann. Sie sind somit Arbeitspakete, in denen funktionale Module entstehen werden, die für den Betrieb von HAF-Funktionen notwendig sind. Hierzu zählt, Redundanzen und Aktorik festzulegen, die notwendig sind, um einen HAF-Betrieb aufrecht zu erhalten, bis der Fahrer die Fahraufgabe wieder übernommen hat.

Im zweiten Themengebiet des UAP4.4 geht es die operative Umsetzung des Erprobungs-  
betriebs mit Versuchsfahrzeugen. Im UAP4.4.3 soll ein Sicherheitskonzept für den Versuchsbe-  
trieb auf öffentlichen Straßen entwickelt werden, das in den Ko-HAF Versuchsfahrzeugen um-  
gesetzt werden soll, damit überhaupt im Straßenverkehr erprobt werden kann. UAP4.4.4 soll  
den Fahrzeugaufbau sämtlicher Ko-HAF Versuchsfahrzeuge koordinieren und steuern.

#### **UAP4.4.1 Fahrzeugaufbau**

Zur Ausführung dieser Aufgabe wurde eine Excel Tabelle entwickelt, mit der der Aufbauzu-  
stand eines Fahrzeugs verfolgt werden kann. In Tabelle 5 ist exemplarisch der Aufbauzustand  
des Audi-Erprobungsfahrzeugs Ko-HAF\_2 dokumentiert. Die Tabelle umfasst einzelne Kate-  
gorien wie Aktorik, Sensorik, Grundausstattung usw., innerhalb derer einzelne Systeme und  
deren Integrationsfortschritt angegeben werden können.

Die Tabelle beinhaltet auch zwei für Ko-HAF wesentliche Kategorien. Zum einen ist dies die  
Kommunikationseinheit mit ihren Subsystemen und zum anderen das Sicherheitskonzept.

**Tabelle 5:** Aufbaudokumentation des Audi-Erprobungsfahrzeugs (Ko-HAF\_2)

	Systeme	Einzelkomponenten	Fortschritt in %	Kommentar
<b>Fahrzeug</b>	Ko-HAF Fahrzeugnummer	Ko-HAF_2	<b>X</b>	Fahrzeug nur für Lokalisation und Koimmunikation zum und vom Safety Server. Keine Funktionsdarstellung!
	Partner	AUDI AG		
	Partnerspezifische Fahrzeugnummer	Audi_1		
	Änderungsdatum	30.06.2016		
	Fahrzeugtyp	Audi A6 Avant quattro		
	Motorisierung	3.0l TDI		
<b>Grundaufbau</b>	Powermanagement	ja	100%	inkl. Zusatzbatterie
	Zusatzlüftung / Kühlung	nein	---	
	Bussysteme	CAN, Flexray, Ethernet	100%	
	Systemschalter	Einschaltlogik, Aktivierungsschalter	100%	
	Zusatzkomponenten	Diverse Gateways	100%	
<b>Ansteuerbare Aktorik</b>	Längsaktorik	ESC, Verbrennungsmotor, Doppelkupplungsgetriebe	---	nicht vorgesehen
	Queraktorik	EPS, Dynamiklenkung	---	nicht vorgesehen
<b>Ego-Sensorik</b>	Inertialsystem	Serien-Inertialsystem (3x Beschleunigung, 3x Drehrate)	100%	
	Odometriesensoren	4x Raddrehzahlsensoren	100%	
	Fahrwerkssensoren	Höhenstandssensoren an allen 4 Rädern	100%	
	Globales Ortungssystem	GPS	100%	
<b>Umfeldsensorik</b>	Erfassungsbereich Front	Doppel-Long Range Radar, MonoVideo, Laserscanner	100%	
	Erfassungsbereich Seite	4 Eckradare, Ultraschall	100%	
	Erfassungsbereich Hinten	Short Range Radar, Long Range Radar	100%	
<b>Kommunikationseinheit</b>	Kommunikationsrechner, LTE-Modem, Antennen	AP1-Box	100%	
	SIM-Karten/Vertrag	Vodafone	100%	
<b>Funktionsrechner</b>	CarPC's	Umfeldwahrnehmung, Situationsanalyse	100%	
	RP-Hardware (Autobox, ES1000, ...)	Aktorregelung- und ansteuerung	---	nicht vorgesehen
	Entwicklungssteuergeräte	---	---	nicht vorgesehen
	Spezialhardware	HMI-Ansteuerung	---	nicht vorgesehen
<b>HMI</b>	HUD	frei ansteuerbar	---	
	Kombidisplay	frei ansteuerbar	---	
	Infotainmentdisplay	---	---	
	Zusatzdisplays	zur Visualisierung von Entwicklungsdaten	100%	
	Fahrerzustandskennung	---	---	
	LED-Leiste	---	---	
	Bedienelement für HAF-Funktion	ja	---	
<b>Sicherheitssystem</b>	Notlaufsystem	Nach Vorgaben umgesetzt	100%	
	Not-Aus	Nach Vorgaben umgesetzt	100%	

Für jedes der Fahrzeug ist zentral auf dem Server ein eigenes Status-Dokument abgelegt.

Zur Dokumentation eines jeden Fahrzeugs kann z.B. diese Tabelle zusammen mit einem Bild des Erprobungsfahrzeugs (Abbildung 43) und einer Skizze der Verbauorte von Komponenten in einer Präsentation dargestellt werden.



**Abbildung 43:** Bild des Audi Erprobungsfahrzeugs

#### **UAP4.4.2 Kooperative Maßnahmen hochautomatisierter Fahrzeuge auf Serverdaten**

Dieses Unterarbeitspaket bearbeitete Audi als einziger Partner. Ziel dieses UAP war, einen eventuellen Mehrwert, der sich aufgrund des im Projekt entwickelten Safety Servers ergibt, nicht nur für die Aktualisierung von digitalen Karten sondern auch für ein erweitertes Sicherheitskonzept für HAF-Fahrzeuge zu nutzen. Es wurde untersucht, ob fahrzeugautarke Maßnahmen für einen sicheren HAF-Betrieb (siehe UAP4.4.4) durch die Nutzung von Daten eines Backends verbessert werden können.

Seitens Audi wurden hierzu einige theoretische Überlegungen und Simulationen durchgeführt. Letztendlich gelangte man zur Erkenntnis, dass zwei Fälle unterschieden werden müssen:

**Fall 1:** Ein HAF-Fahrzeug führt ein Sicherheitsmanöver aus und meldet dies an ein Backend. Führt ein HAF-Fahrzeug ein Sicherheitsmanöver aus, so wie es in UAP4.4.4 beschrieben ist, kann das Fahrzeug diese Information an den Safety Server weitergeben und das Backend kann wiederum - in Analogie zu Informationen über eine Gefahrenstelle (UAP4.3) – diese Informationen an nachfolgende Fahrzeuge weitergeben. Im Gegensatz zur Gewinnung von Informationen über Gefahrenstellen z.B. die Erkennung von einer Skibox (Beispiel aus UAP4.3)

muss die Information von einem Fahrzeug, welches ein Sicherheitsmanöver ausführt, im Backend nicht aufwändig plausibilisiert werden, da das Fahrzeug selbst am besten weiß, welches Manöver es gerade ausführt. Die Information über eine Gefahrenstelle aufgrund eines HAF-Fahrzeugs, welches gerade ein Sicherheitsmanöver ausführt, kann somit schnell dem nachfolgenden Verkehr bereitgestellt werden, als im Standardfall einer Gefahrenstelle.

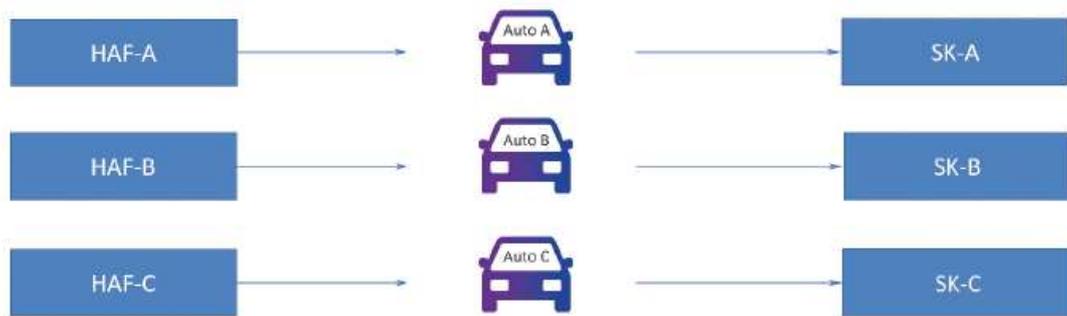
Um allerdings diesen Spezialfall abzubilden, sind zusätzliche Informationen in der Schnittstelle zwischen Fahrzeug-Frontend und Server-Backend notwendig. Aufgrund dieser Zusatzinformationen könnte dieser Spezialfall charakterisiert und eine andere Verarbeitungskette auf dem Backend angestoßen werden. Diese Abstimmung konnte allerdings im Rahmen von Ko-HAF nicht durchgeführt werden, da Audi als einziger Partner dieses UAP bearbeitete. Um dies in die Schnittstelle zwischen Fahrzeug-Frontend und Server-Backend mit aufzunehmen, muss im Nachgang zum Ko-HAF Projekt in einer gesonderten Initiative eine Vereinheitlichung herbeigeführt werden.

**Fall 2:** Nachfolgende Fahrzeuge (nicht zwangsläufig HAF-Fahrzeuge) erhalten Informationen via Backend über ein HAF-Fahrzeug, welches gerade ein Sicherheitsmanöver ausführt

Nachfolgende HAF-Fahrzeuge können die Informationen vom Backend nutzen in Analogie zu UAP4.3 ein strategisches Manöver ausführen. Bei der Reaktion auf HAF-Fahrzeuge, welche ein Sicherheitsmanöver ausführen, ergibt sich somit kein Sonderfall, sondern die im Projekt erarbeiteten Mechanismen zur Reaktion auf Gefahrenstellen (ein HAF-Fahrzeug in einem Sicherheitsmanöver ist somit eine Gefahrenstelle) reichen aus. In Fahrzeugen mit einem geringeren Automatisierungsgrad (bis Level2) kann die Information vom Safety Server über die Gefahrenstelle z.B. angezeigt werden.

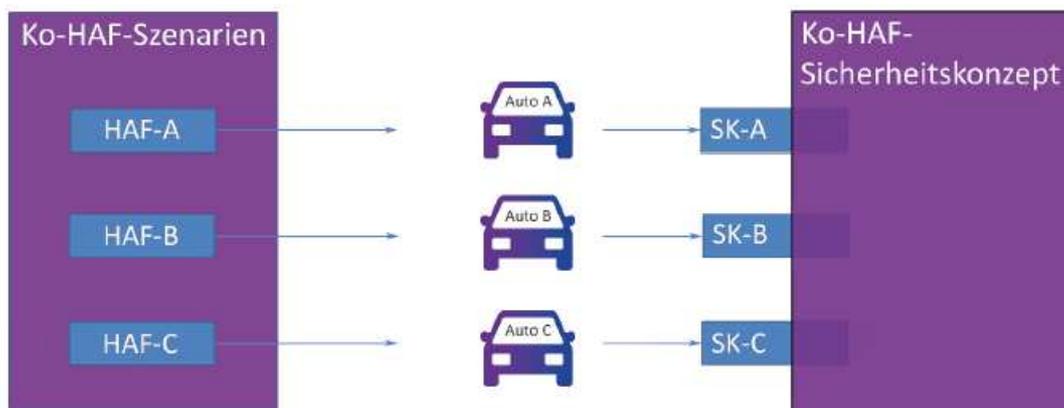
#### **UAP4.4.3 Sicherheitskonzept für den Versuchsbetrieb auf öffentlichen Straßen**

Die zu entwickelnden Fahrfunktionen in den UAP's 4.2 und 4.3 werden neben dem Prüfgebiet auch auf der öffentlichen Straße getestet. Dabei greifen die HAF-Systeme aktiv auf die Bewegungs-Aktoren 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 im Entwicklungsstadium befinden. Um die Folgen einer beispielsweise fehlerhaften Fahrstreifen-Detektion einzugrenzen, wurde ein partnerübergreifendes Sicherheitskonzept entwickelt. Die größte Herausforderung, dabei war, dass alle Partner ein eigenes Fahrzeug aufbauen und diese sich in der funktionalen und technischen Architektur sowie der verwendeten Aktoren unterscheiden (Abbildung 44).



**Abbildung 44:** Partnerspezifische Systemausprägungen

Ziel ist es für die Ko-HAF-Szenarien einheitliche Randbedingungen zu bestimmen. Die im jeweiligen Fahrzeug partnerspezifisch umgesetzt werden.



**Abbildung 45:** Ko-HAF spezifische Randbedingungen partnerspezifisch umgesetzt

Die Detaillierung und Diskussion dieses gemeinsamen Leitfadens wurde in einem WS im Rahmen eines Quartaltreffens erarbeitet.

Im Zuge dieser Überlegungen wurden 5 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 soll umgangen werden, dass das System sich 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 systemgrenzenbedingten Abwurf nicht automatisch reaktiviert werden.

Während des Betriebes des Systems auf öffentlichen Straßen aber auch auf Testgeländen ist es essentiell, dass der Sicherheitsfahrer sich ausschließlich um die Überwachungsaufgabe kümmert. Die Bedienung, Steuerung und das Debugging des Systems führt ein Beifahrer durch.

Die Deaktivierung des Systems erfolgt in erster Linie über Tasten, Pedalerie und Lenkrad. Sollte allerdings ein schwerwiegenderer Fehler auftreten, sind in allen Versuchsträgern Notaus-Pilze für die Aktorik verbaut. Damit wird HW-technisch die Ansteuerung der Aktoren getrennt und der Fahrer ist in der Lage das Fahrzeug zu kontrollieren.

Zusätzlich zu diesen Vorkehrungen, werden innerhalb der Regelungs-SW die Stellgrößen der Aktoren überwacht und begrenzt. Damit werden alle Fehler in den vorherigen Modulen in der Wirkkette des Systems eingeschränkt und nicht direkt an die Aktoren weitergeleitet.

Der letzte Baustein des Sicherheitskonzeptes ist die Insassensicherheit. Die Serien-Fahrzeuge 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 verbauen, sondern diese nach Stand der Technik zu fixieren. Tabelle 6 zeigt die einzelnen Maßnahmen, des für Ko-HAF erarbeiteten Sicherheitskonzeptes für Erprobungsfahrzeuge.

**Tabelle 6: Ko-HAF Sicherheitskonzept für Erprobungsfahrzeuge**

Anforderungen an das Sicherheitskonzept für KoHAF-VT			Opel	Audi	BMW	Bosch	Conti	IFF
<b>Betrieb des VT</b>								
	Betrieb auf öffentlichen Straßen immer mit Sicherheitsfahrer		x	x	x	x	x	x
	Systemtests mit Bedienung eines Interfaces - Beifahrer notwendig		x	x	x	x	x	x
	Notaus-Pilz für Aktorik-Ansteuerung		x	x	x	x	x	x
	Deaktivierung der Fahrfunktion							
		Per Bremse	x	x	x	x	x	x
		Per Taster	x	x	x	x	x	x
		Per Notausschalter	x	x	x	x	x	x
		Per Fahrerlenkmoment > x Nm		x	x	x	x	x
		Per Gaspedal				x		
	Aktivierung des Systems							
		Per aktiver Handlung des Sicherheitsfahrers	x	x	x	x	x	x
		Nach Systemabwurf muss System explizit aktiviert werden	x	x	x	x	x	x
<b>Überwachung des Systems</b>								
	Aktorgrößüberwachung							
		Lenkmoment oder äquivalente Größe	x	x	x	x	x	x
		Motormoment oder äquivalente Größe	x	x	x	x	x	x
		Sollverzögerung oder äquivalente Größe	x	x	x	x	x	x
<b>Insassensicherheit</b>								
	Serienmäßig verbaute Airbags sind bis auf begründete Ausnahmen verbaut		x	x	x	x	x	x
	Sondenverbauten (z.B: Monitore, Bedientaster usw.) sicher verbaut		x	x	x	x	x	x

Die Umsetzung dieser Vorkehrungen in den jeweiligen Versuchsträgern oblag den einzelnen Partner. Nach Projektende kann gesagt werden, dass sich das Sicherheitskonzept sowohl für Prüfgelände- als auch für Feldtests bewährt hat. Im gesamten Projektzeitraum hat es keine Schäden an Material oder sogar Personen gegeben.

#### UAP4.4.4 Maßnahmen zum Notbetrieb im eignen Fahrzeug

Zur Beschreibung des risikominimalen Zustandes, ist ein gemeinsames Verständnis der Funktionsbeschreibung von entscheidender Bedeutung. Dieser beinhaltet die Festlegung der betrachteten Automationsstufen, die Domäne und die für Ko-HAF relevanten Funktionsumfänge. Diese wurden zu Projektstart in UAP4.2 Normalfunktionen festgelegt (siehe Tabelle 7).

**Tabelle 7:** Funktionsumsetzungen der einzelnen Partner

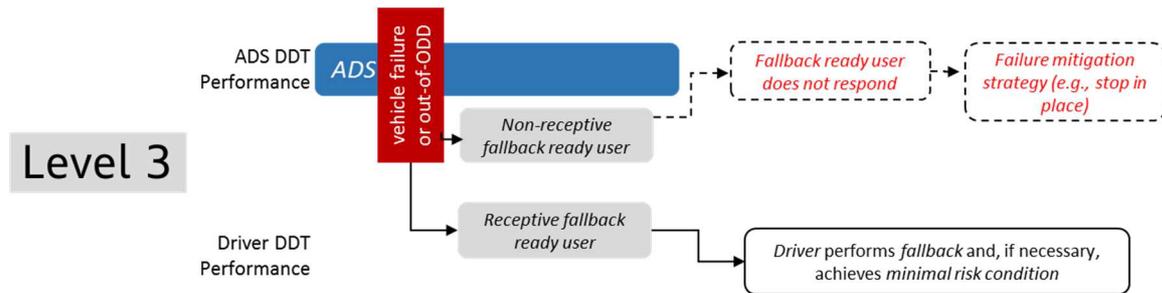
Funktionen	Projektpartner					
	 Audi		 BOSCH Technik fürs Leben			 Technische Universität Braunschweig
Abfahrtautomatation	✓		✓	✓	✓	
Autobahnkreuze		✓				✓
Auffahren und Einfädeln	✓		✓	✓	✓	
Baustelle		✓				
Einstellbares Fahrverhalten				✓		

Nachdem die Funktionsbeschreibung definiert ist, erfolgt die weitere Herleitung des risikominimalen Zustandes und die Manöver zur Überführung in den risikominimalen Zustand in drei Schritten:

- Ableitung der Ko-HAF-relevanten Szenarien, die zu einem risikominimalen Zustand führen
- Definition des risikominimalen Zustandes
- Definition der Manöver zur Überführung des risikominimalen Zustandes.

Im Förderprojekt Ko-HAF werden hochautomatisierte Fahrfunktionen betrachtet, die laut SAE-Definition der Stufe 3 (SAE (2018)) entsprechen. Diese technische Klassifizierung beschreibt sowohl, welche Aufgaben das System selbst wahrnimmt als auch, welche Aufgaben/Anforderungen an den Fahrer gestellt werden. In Level 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 Querführung 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. Die Notwendigkeit dieser Zeitreserve wurde bereits in der Vorhabenbeschreibung aufgeführt.

Studien wie Damböck (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 46:** Fehlerauslösungen und Rückfallebenen

In Abbildung 46 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 Fahrstreifenmittenführung 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 Level3-System ist der Stillstand im eigenen Fahrstreifen als risikominimaler Zustand immer erlaubt, da der Fahrer laut SAE-Definition (siehe auch SAE (2018)) als Rückfallebene für das System zur Verfügung steht.

Das erarbeitete Konzept wurde in einem Versuchsträger prototypisch umgesetzt. Fokus dabei war, die unterschiedlichsten Manöver zu implementieren und deren Machbarkeit zu validieren. Im Audi-Versuchsträger wurde der oben aufgeführte Fall „Ende des Wirkbereichs einer Fahr-funktion“ 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, wie es seitens Audi auf der Ko-HAF Abschlusspräsentation gezeigt wurde) wird dem Fahrer bereits mit ausreichender Vo-rausschau (abhängig von der aktuellen Fahrgeschwindigkeit) mitgeteilt. Die Übernahmeauf-forderung wird visuell und akustisch dargestellt. Übernimmt der Fahrer auch nach einer fest-gelegten 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 re-duziert. Dies erfolgt solange, bis entweder der Stillstand erreicht wird oder der Fahrer über-nimmt.

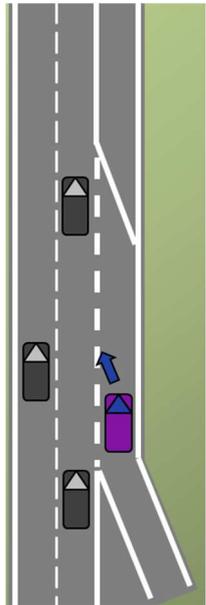
### **3.5 AP5 Absicherung**

Im AP5 war die AUDI AG nur im UAP5.1 vertreten.

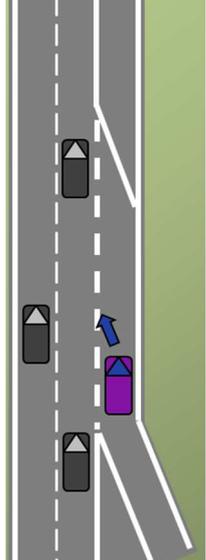
#### **3.5.1 UAP5.1 Methodik**

Wichtiger Input für das UAP5.1 ist der Szenarien-katalog aus AP4. Dieser Katalog ist die Basis für die weiteren Arbeiten im AP5. Aus dem Szenarien-katalog kann abgeleitet werden, welche Tests am besten mit welcher Testumgebung (Simulation, Prüfgeländetests, Feldtests, ...) durchgeführt werden können. Daneben dient der Szenarien-katalog als Grundlage zur Erstel-lung der Testfälle für die einzelnen Testumgebungen.

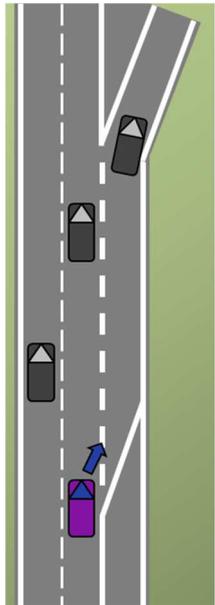
**Tabelle 8: Auffahren und Einfädeln: A – Auffahren**

Skizze	Kontext	Beschreibung
	<p><b>Ausgangssituation</b></p>	<p>Je nach implementiertem Funktionsumfang beginnt das Szenario entweder im manuellen Fahrbetrieb nach Auffahren von der untergeordneten Straße auf die Verbindungsrampe, die zum Einfädelungsstreifen führt bzw. beim Erreichen des Einfädelungsstreifens (Anmerkung: Alternativ beginnt das Szenario im automatisierten Fahrbetrieb als Teilfunktion des Autobahnkreuz-Szenarios).</p>
	<p><b>Typisches Systemverhalten</b></p>	<p>Befindet sich das System im manuellen Fahrbetrieb, so bietet es dem Fahrer nach vorheriger Prüfung notwendiger Vorbedingungen (insbes. verbleibende Distanz / Zeit bis zum Ende des Einfädelungsstreifens) eine Aktivierung der Automation an. Aktiviert der Fahrer das System bzw. beginnt das Szenario mit einem bereits aktiven System, so initiiert es selbstständig einen Fahrstreifenwechsel nach links vom Einfädelungsstreifen auf den benachbarten durchgehenden Fahrstreifen. Dabei bezieht das System vor, während und bis zum Erreichen des Zielfahrstreifens die Situationskonstellation, insbesondere die Bewegung und vermutete Intention anderer Verkehrsteilnehmer, in die eigene Fahrstrategie mit ein. Somit soll eine möglichst vorhersehbare und gleichmäßige Fahrweise ermöglicht werden um potenziellen Konfliktsituationen beim Auffahren vorzubeugen.</p>
	<p><b>Endsituation</b></p>	<p>Das Szenario endet, sobald das Fahrzeug den Zielfahrstreifen (durchgehender rechter Fahrstreifen) erreicht hat oder, für den Fall, dass das Auffahren fehlgeschlagen ist, am Ende des Einfädelungsstreifens zum Stehen gekommen ist.</p>

**Tabelle 9: Auffahren und Einfädeln: B – Einfädeln**

Skizze	Kontext	Beschreibung
	<p><b>Ausgangssituation</b></p>	<p>Das Demonstratorfahrzeug befährt im automatisierten Fahrbetrieb einen durchgehenden Fahrstreifen, der in Kürze endet.</p>
	<p><b>Typisches Systemverhalten</b></p>	<p>Das System erkennt selbstständig das bevorstehende Ende des vormals durchgehenden Fahrstreifens und initiiert einen Fahrstreifenwechsel auf den benachbarten durchgehenden Fahrstreifen. Dabei bezieht das System vor, während und bis zum Erreichen des Zielfahrstreifens die Situationskonstellation, insbesondere die Bewegung und vermutete Intention anderer Verkehrsteilnehmer, in die eigene Fahrstrategie mit ein. Somit soll eine möglichst vorhersehbare und gleichmäßige Fahrweise ermöglicht werden um potenziellen Konfliktsituationen beim Einfädeln vorzubeugen.</p>
	<p><b>Endsituation</b></p>	<p>Das Szenario endet, sobald das Fahrzeug den Zielfahrstreifen erreicht hat oder, für den Fall, dass das Einfädeln fehlgeschlagen ist, sobald das Fahrzeug am Ende des ursprünglichen Fahrstreifens zum Stehen gekommen ist.</p>

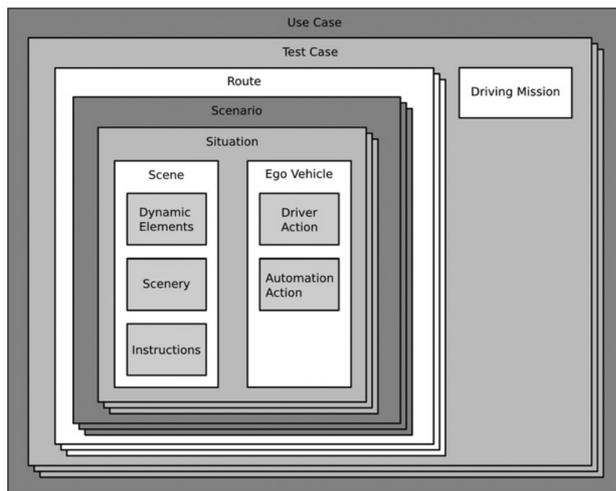
**Tabelle 10:** Abfahrautomation

Skizze	Kontext	Beschreibung
	<p><b>Ausgangssituation</b></p>	<p>Das Demonstratorfahrzeug befährt im automatisierten Fahrbetrieb den durchgehenden rechten Fahrstreifen einer Autobahn und nähert sich einem Ausfädelungstreifen. Das System besitzt die Intention, auf diesen Ausfädelungstreifen zu wechseln. Die Intention kann hierbei systeminitiiert, z. B. durch Routenvorgabe, oder fahrerinitiiert, z. B. durch Manövrierung durch Aktivieren des Fahrtrichtungsanzeiger-Hebels oder eines anderen geeigneten Bedienelements, zur Verfügung stehen.</p>
	<p><b>Typisches Systemverhalten</b></p>	<p>Das System aktiviert selbstständig den Fahrtrichtungsanzeiger vor Erreichen des Ausfädelungstreifen und initiiert im Anschluss selbstständig einen Fahrstreifenwechsel nach rechts auf den Ausfädelungstreifen. Das Demonstratorfahrzeug wechselt unter Beachtung anderer Verkehrsteilnehmer selbstständig auf den Ausfädelungstreifen und passt dabei die Geschwindigkeit den situationsspezifischen Erfordernissen an.</p>
	<p><b>Endsituation</b></p>	<p>Je nach implementiertem Funktionsumfang endet das Szenario mit einer erfolgreichen Fahrerübernahme entweder am Ende des Ausfädelungstreifen oder am Ende der Verbindungsrampe, die zur Rastanlage oder der untergeordneten Straße führt (Anmerkung: Darüber hinaus kann die Abfahrautomation als eine Teilfunktion der Funktion „Autobahnkreuze“ aufgefasst werden, wobei in diesem Falle das System aktiv bleibt und keine Fahrerübernahme erfolgt).</p>

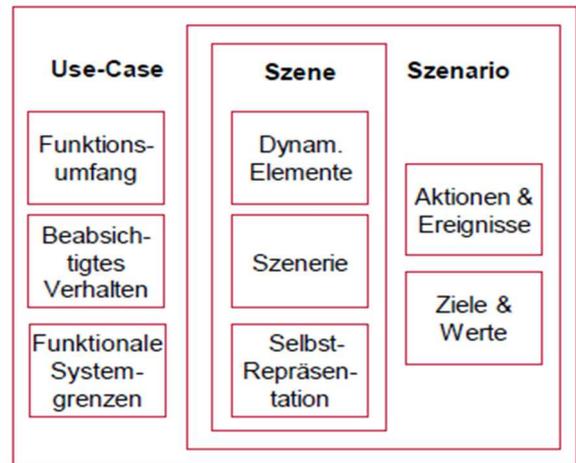
Auf Basis der Tabelle 8 bis Tabelle 10 wurde unter Führung der Projektpartner TU Braunschweig und Continental Safety Engineering International die Methodik zur Ableitung von Testfällen entwickelt. An dieser Stelle sei auf die Meilenstein- sowie Halbzeit- und Abschlussberichte verwiesen. Audi hat an dieser Stelle nur beratende Tätigkeiten und brachte seine langjährige Erfahrung in der Testspezifikation von Fahrerassistenzsystemen in die Methodenentwicklung für HAF-Tests mit ein.

Neben der Rolle als Brückenkopf zwischen den Ko-HAF Teilprojekten AP4 und AP5 kam der AUDI AG im Förderprojekt Ko-HAF noch eine weitere wichtige Rolle zu. Zusammen mit der Adam Opel AG und in Zusammenarbeit mit der TU Braunschweig trieb Audi die Abstimmung von Begrifflichkeiten wie Szenario, statische oder dynamische Szenerie innerhalb Ko-HAF und über die Grenzen von Ko-HAF hinaus z. B. mit dem Förderprojekt PEGASUS. Die Vereinheitlichung von Begriffen ist immens wichtig, um nicht „aneinander vorbei“ zu reden. Wenn z.B. von einem „Szenariobasierten Ansatz“ gesprochen wird, muss klar sein, wie ein „Szenario“ beschrieben wird.

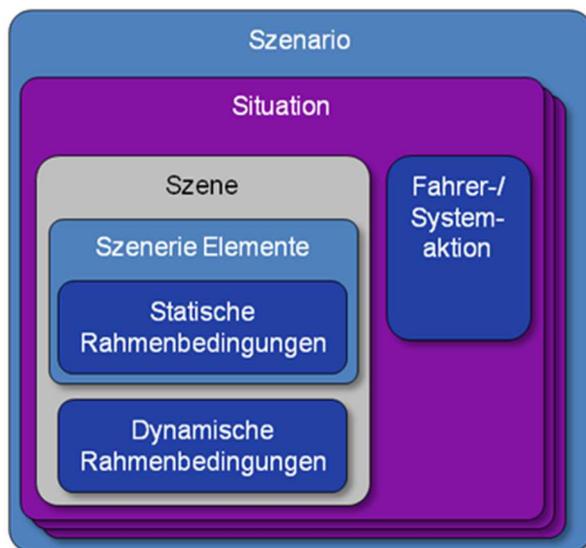
Die AUDI AG hat daher bestehende Definitionen von Szenarien gesammelt (Abbildung 47).



Geyer - 2012



Ulbrich - 2015



Ko-HAF - 2016



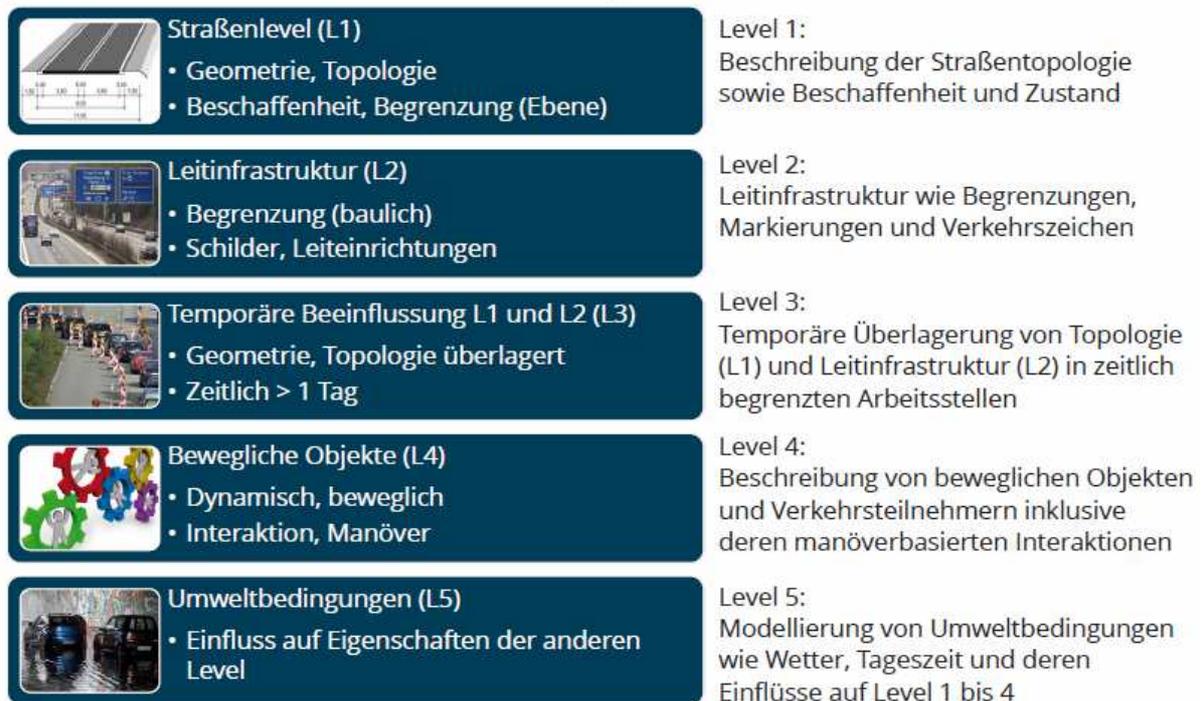
PEGASUS - 2017

**Abbildung 47:** Unterschiedliche Definitionen von Szenarien

Wie Abbildung 47 zeigt, gibt es bereits einige Definitionen zu diesem Themenkomplex. Die Zusammenfassung, die Audi vorbereitet hat, diente als Input für die nun folgenden Diskussionen. Seitens PEGASUS wurde zusätzlich vorgeschlagen, zwischen funktionalen, logischen und konkreten Szenarien zu unterscheiden.

Seitens des Förderprojekts PEGASUS lag der Fokus auf der Entwicklung von Absicherungsmethoden für Level3-Systeme. Es wurde ein szenariobasierter Absicherungsansatz entwickelt. Dieser wurde seitens Audi in Ko-HAF übernommen.

Es wurde eine 5-Ebenen-Struktur für Szenarien (gemäß Abbildung 48) spezifiziert.



**Abbildung 48:** 5-Ebenen-Struktur zu Beschreibung von Szenarien

Die Bezeichnung der unterschiedlichen Inhalte durch Level von L1 bis L5 ist allerdings irreführend, da diese leicht mit den Automatisierungs-Level gemäß SAE (siehe SAE (2018)) verwechselt werden können. An dieser Stelle muss noch präzisiert werden. Quintessenz dieser Darstellung ist jedoch, dass Szenarien aus unterschiedlichen Inhalten bestehen, die gemäß dieser Darstellung strukturiert werden können.

Neben dieser Beschreibung der Inhalte von Szenarien werden zusätzlich Abstraktionsstufen von Szenarien definiert (siehe Abbildung 49).

Funktionale Szenarien	Logische Szenarien	Konkrete Szenarien
<u>Basisstrecke:</u> 3-streifige Autobahn in Kurve Begrenzung auf 100 km/h durch Verkehrszeichen rechts und links	<u>Basisstrecke:</u> Breite Fahrstreifen [2,3..3,5] m Kurvenradius [0,6..0,9] km Pos_Verkehrszeichen[0..200] m	<u>Basisstrecke:</u> Breite Fahrstreifen [3,2] m Kurvenradius [0,7] km Pos_Verkehrszeichen [150] m
<u>Stationäre Objekte:</u> -	<u>Stationäre Objekte:</u> -	<u>Stationäre Objekte:</u> -
<u>Bewegliche Objekte:</u> Ego, Stau; Interaktion: Ego in Manöver „Annähern“ auf mittlerem Fahrstreifen, Stau zähfließend	<u>Bewegliche Objekte:</u> Stauende_Pos [10..200] m Stau_Geschw. [0..30] km/h Ego_Abstand [50..300] m Ego_Geschw. [80..130] km/h	<u>Bewegliche Objekte:</u> Stauende_Pos 40 m Stau_Geschw. 30 km/h Ego_Abstand 200 m Ego_Geschw. 100 km/h
<u>Umwelt:</u> Sommer, Regen	<u>Umwelt:</u> Temperatur [10..40] °C Tröpfchengröße [20..100] µm	<u>Umwelt:</u> Temperatur 20 °C Tröpfchengröße 30 µm

**Abbildung 49:** Abstraktionsstufen von Szenarien

Zur Beschreibung von Szenarien als logischen Szenarien werden bei Audi die Beschreibungssprachen Open Drive (für stationäre Umfänge) und Open Scenario (für bewegte Umfänge) verwendet.

### 3.6 Literaturverzeichnis

Anund, A.; Kecklund, G.; Vadeby, A.; Hjälmdahl, Magnus; Åkerstedt, Torbjörn (2008): The alerting effect of hitting a rumble strip - a simulator study with sleepy drivers. In: *Accident analysis and prevention* 40 (6), S. 1970–1976. DOI: 10.1016/j.aap.2008.08.017.

Cummings, P.; Koepsell, T. D.; Moffat, J. M.; Rivara, F. P. (2001): Drowsiness, countermeasures to drowsiness, and the risk of a motor vehicle crash. In: *Injury Prevention* 7, S. 194–199. DOI: 10.1136/ip.7.3.194.

Damböck, Daniel (2013): *Automationseffekte im Fahrzeug – von der Reaktion zur Übernahme*, Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, 16.07.2013

Davidsson, Staffan (2012): Countermeasure drowsiness by design - using common behaviour. In: *Work* 41 (Supplement 1), S. 5062–5067. DOI: 10.3233/WOR-2012-0798-5062.

Horne, J. A.; Reyner, L. A. (1995): Driver sleepiness. In: *Journal of sleep research* 4 (Suppl 2), S. 23–29. DOI: 10.1111/j.1365-2869.1995.tb00222.x.

Johns, M. W. (1998): Rethinking the assessment of sleepiness. In: *Sleep Medicine Reviews* 2 (1), S. 3–15.

Karrer-Gauß, Katja (2012): *Prospektive Bewertung von Systemen zur Müdigkeitserkennung. Ableitung von Gestaltungsempfehlungen zur Vermeidung von Risikokompensation aus empirischen Untersuchungen*. Dissertation. Technische Universität Berlin. Verkehrs- und Maschinensysteme.

Payre, William; Cestac, Julien; Delhomme, Patricia (2014): Intention to use a fully automated car. Attitudes and a priori acceptability. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 27 (Part B), S. 252–263. DOI: 10.1016/j.trf.2014.04.009.

Radlmayr, J.; Feldhütter, A.; Frey, A.; Jarosch, O.; Marberger, C.; Naujoks, F. et al. (2019): Drowsiness and fatigue in conditionally automated driving – Towards an integrative framework. In: D. de Waard, K. Brookhuis, D. Coelho, S. Fairclough, D. Manzey, A. Naumann et al. (Hg.): *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2018*.

SAE (2018): [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_201806/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/)

Saper, Clifford B.; Cano, Georgina; Scammell, Thomas E. (2005): Homeostatic, circadian, and emotional regulation of sleep. In: *The Journal of comparative neurology* 1 (493), S. 92–98. DOI: 10.1002/cne.20770.

Sensoris (2018): <https://sensor-is.org/automotive-industry-to-use-sensoris-vehicle-to-cloud-data-standard-with-ko-haf-project/>

Trivedi, Mohan Manubhai; Gandhi, Tarak; McCall, Joel (2007): Looking-In and Looking-Out of a Vehicle. Computer-Vision-Based Enhanced Vehicle Safety. In: *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.* 8 (1), S. 108–120. DOI: 10.1109/TITS.2006.889442.

Weinbeer, V.; Baur, C.; Radlmayr, J.; Bill, J.-S.; Muhr, T.; Bengler, Klaus (2017): Highly automated driving: How to get the driver drowsy and how does drowsiness influence various take-over aspects? In: 8. Tagung Fahrerassistenz.

Weinbeer, V.; Bill, J.-S.; Baur, C.; Bengler, K. (2018): Automated driving: Subjective assessment of different strategies to manage drowsiness. In: D. de Waard, F. Di Nocera, D. Coelho,

J. Edworthy, K. Brookhuis, F. Ferlazzo et al. (Hg.): Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2017 Annual Conference, S. 5–17.

Weinbeer, V.; Muhr, T.; Bengler, K. (2019): Automated Driving: The Potential of Non-driving-Related Tasks to Manage Driver Drowsiness. In: Sebastiano Bagnara, Riccardo Tartaglia, Sara Albolino, Thomas Alexander und Yushi Fujita (Hg.): Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018). Cham: Springer International Publishing (823), S. 179–188.

Wiegand, D. M.; McClafferty, J.; McDonald, S. E.; Hanowski, R. J. (2009): Development and Evaluation of a Naturalistic Observer Rating of Drowsiness Protocol. Final Report. In: The National Surface Transportation Safety Center for Excellence.

Wierwille, W. W.; Ellsworth, L. A. (1994): Evaluation of driver drowsiness by trained raters. In: Accident analysis and prevention 26 (5), S. 571–581.

## 4 Ergebnisverbreitung

### 4.1 Konferenzbeiträge und Publikationen

Im Berichtszeitraum wurden folgende Publikationen von den Projektpartnern erstellt, eingereicht und angenommen:

- Weinbeer, V., Bill, J.-S., Baur, C., & Bengler, K. (2018), "Automated driving: Subjective assessment of different strategies to manage drowsiness". In D. de Waard et al. (Eds.), Proceedings of the human factors and ergonomics society europe chapter 2017 annual conference (pp. 5-17). (oral presentation on September 28th, 2017 in Rome)
- Weinbeer, V., Baur, C., Radlmayr, J., Bill, J.-S., Muhr, T., & Bengler, K. (2017), "Highly automated driving: How to get the driver drowsy and how does drowsiness influence various take-over aspects?" 8. Tagung Fahrerassistenz. (oral presentation on November 23th, 2017 in Munich)
- Weinbeer, V., Muhr, T., & Bengler, K. (2019), "Automated driving: The potential of non-driving-related tasks to manage driver drowsiness". In S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, & Y. Fujita (Eds.), Proceedings of the 20th congress of the international ergonomics association (IEA 2018) (pp.179-188). Cham: Springer International Publishing. (oral presentation on August 29th, 2018 in Florence)
- Radlmayr, J., Feldhütter, A., Frey, A., Jarosch, O., Marberger, C., Naujoks, F., Weinbeer, V., & Bengler, K. (2019), "Drowsiness and fatigue in conditionally automated driving towards an integrative framework". In D. de Waard et al. (Eds.), Proceedings of the human factors and ergonomics society europe chapter 2018.
- Potzy, J., Goerigk, N., Heil, Th., Fassbender, D., & Siedersberger, K.-H. (2019), „Trajectory Planning for Automated Merging on Highways“. In VEHITS (2019), pp. 283-290.
- Potzy, J., Feuerbach, M. & Bengler, K.: „Communication strategies for automated merging in dense traffic“. In IEEE 30th Intelligent Vehicles Symposium, 2019, IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Paris, France, June 9-12, 2019.

### 4.2 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.

- Veronika Weinbeer, „Automated Driving: Development of a Drowsiness Management Concept and Evaluation of Related Key Elements“ (Dissertation), Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, geplant 2019
- Johannes Potzy, „Manual Driver's Evaluation of Automated Merging Behaviour in Dense Traffic“ (Dissertation), Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, geplant 2020

## 5 Planung und Ablauf des Projektes

Das Projekt startete am 01.06.2015. Mit einer Laufzeit von 42 Monaten wurde das offizielle Projektende auf den 30.11.2018 festgelegt.

Hinsichtlich der Einhaltung der Zeitplanung sei auf die Tabelle 11 verwiesen, in welcher exemplarisch der zu Beginn des Projektes erstellte Zeitplan für das Projekt Ko-HAF angeführt ist. Die gesetzten Meilensteine konnten alle eingehalten werden.

**Tabelle 11:** Zeitplan des Projekts Ko-HAF

Arbeitspaket		Quartal im Projektablauf													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>1</b>	<b>Umfelderfassung und Repräsentation im Backend</b>														
1.1	Spezifikation und Realisierung des Safety Servers														
1.2	Sichere Kommunikation zwischen Backend und Frontend														
1.3	Datenmodellierung im Safety Server														
<b>2</b>	<b>Fahrzeuglokalisierung und statisches Umfeldmodell</b>														
2.1	Gewinnung und Kommunikation von Backend Daten														
2.2	Fahrzeuglokalisierung														
2.3	Statisches Umfeldmodell, Kartenbewertung und Georeferenzierung der Backend-Daten im Fahrzeug														
<b>3</b>	<b>Kooperative Fahrzeugführung und kontrollierbare Automation</b>														
3.1	Spezifikationen der Prüfscenarien und Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion														
3.2	Untersuchung von Automationseffekten und Implementierung eines Moduls Fahrer Verfügbarkeit und Vigilanz														
3.3	Integration der Transitionskonzepte für HAF und deren Bewertung														
3.4	Empfehlungen zu Methoden und Interaktionskonzepten														
<b>4</b>	<b>Funktionsentwicklung für Normal- und Notbetrieb</b>														
4.1	Kooperative Umfeldmodellierung im Fahrzeug (Objekt-/Gridfusion), Situationsanalyse und -bewertung														
4.2	Normalfunktionen														
4.3	Gefahrenstellen														
4.4	Fahrzeug und sicherer Betrieb														
<b>5</b>	<b>Absicherung und Erprobung</b>														
5.1	Methodik														
5.2	Testprozedur														
5.3	Virtuelle Erprobung														
5.4	Erprobung auf Testgelände														
5.5	Erprobung im öffentlichen Straßenverkehr														
5.6	Ergebnisaufbereitung														
<b>6</b>	<b>Projektmanagement und Dokumentation</b>														
6.1	Projektkoordination und -management														
6.2	Dokumentation und Ergebnisverbreitung														

Halbzeitpräsentation

Abschlusspräsentation

Die erreichten Ergebnisse zur Mitte der Projektlaufzeit wurden anlässlich der Halbzeitpräsentation im Schloss Johannisburg zu Aschaffenburg am 18. Mai 2017 vorgestellt. Seitens Audi wurde zum einen das für Ko-HAF aufgebaute Erprobungsfahrzeug vorgestellt. Dabei handelte es sich um einen Audi A7. Es wurde der zu diesem Zeitpunkt erreichte Aufbauzustand präsentiert, bei dem schon sämtliche Sensoren ins Fahrzeug integriert waren und die Ansteuerung der Fahrwerksaktoren in Umsetzung war. Neben dieser Exponatpräsentation wurden seitens Audi auch diverse Poster zu den Zwischenergebnissen in den Teilprojekten mitgestaltet. Spezieller Fokus lag dabei auf dem AP2 (Fahrzeuglokalisierung und statisches Umfeldmodell), für das Audi kurz vor der Zwischenpräsentation die Teilprojektleitung von Daimler übernommen hat.

Anlässlich der öffentlichen Abschlusspräsentation am 19./20.09.2018 auf dem Opel-Prüfgebiet in Dudenhofen wurde seitens der AUDI AG eine durchgängige HAF-Fahrt für ein Autobahnscenario vorgestellt. Beginnend mit der Auffahrt auf eine Autobahn, Fahrstreifen folgen, dem Überholen eines langsameren Fahrzeugs bis hin zum Abfahren von der Autobahn mit Übernahmeaufforderung konnte die Gäste während der Präsentationsfahrt eine ganzheitliche HAF-Fahrt erleben. Abgerundet wurde die Demonstrationsfahrt durch ein Sicherheitsmanöver (Emergency Assist) bei nicht erfolgter Übernahme der Fahraufgabe durch den Fahrer, falls diese durch eine Fahrerübernahmeaufforderung angefordert wurde. In dieser Fahraktion wurden Ergebnisse aus sämtlichen Teilprojekten des Projekts Ko-HAF genutzt.

Zusätzlich zur eigenen Fahraktion unterstützte Audi durch die Detektion von Hindernissen auf der Fahrbahn (in diesem Fall einer Skibox), die Umsetzung einer Fahrfunktion von BMW, die eine strategische Reaktion auf eine Gefahrenstelle demonstrierte.

Neben der Fahraktion wurde seitens Audi das im AP3 verwendete Wizzard-of-Oz Auto ausgestellt. Weiterhin trug Audi zum Gelingen der Abschlusspräsentation bei, in dem Vorträge sowohl zum AP2 (Fahrzeuglokalisierung und statisches Umfeldmodell, Teilprojektleitung) als auch zum Minimal-Risk-Maneuver im Rahmen von AP4 gehalten wurden.

## **6 Änderungen in der Zielsetzung**

Die Zielsetzung des Projekts hat sich während der Laufzeit nicht gegenüber dem Projektantrag geändert. Abschließend kann gesagt werden, dass die seitens Audi gesetzten Ziele vollumfänglich erreicht werden konnten.

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Ko-HAF – Kooperatives Hochautomatisiertes Fahren	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Dr. Karl-Heinz Siedersberger Klaus Schmiedhofer Sebastian Skibinski Veronika Weinbeer Sebastian Bayerl Dr. Ulrich Hofmann	5. Abschlussdatum des Vorhabens November 2018
	6. Veröffentlichungsdatum 17.06.2019
	7. Form der Publikation Dokument
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) AUDI AG 85045 Ingolstadt	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen <sup>1)</sup> 19 S 14002 B
	11. Seitenzahl 75
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 11019 Berlin	13. Literaturangaben 19
	14. Tabellen 11
	15. Abbildungen 49
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projekträger Mobilität und Verkehrstechnologien, Am Grauen Stein, 51105 Köln Ingolstadt, 17.06.2019	

#### 18. Kurzfassung

Das Verbundprojekt Ko-HAF – kooperatives hochautomatisiertes Fahren – hatte die Erhöhung von Sicherheit und Effizienz im Straßenverkehr durch kooperatives, hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen im Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 130 km/h zum Ziel. Hochautomatisierung ist dadurch charakterisiert, dass ein automatisiertes Fahrzeug Längs- und Querverführung 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. Gemäß SAE-Spezifikation spricht man auch von Level3-Systemen.

Die erste Generation des hochautomatisierten Fahrens (HAF) adressiert den niedrigsten und niedrigen Geschwindigkeitsbereich in einfachen Verkehrssituationen wie dem Autobahnstau auf Basis bordautonomer Sensorik. Die zweite, in Ko-HAF adressierte Generation widmet sich dem höheren Geschwindigkeitsbereich auf gut ausgebauter Verkehrsinfrastruktur z.B. Autobahnen, um eine Steigerung von Sicherheit, Verkehrseffizienz und Komfort zu erreichen. Dafür war gegenüber der ersten Generation ein deutlicher technischer Innovationshub erforderlich: Die Vorausschau für die Umfelderkennung musste drastisch erhöht werden. Dies erfolgte vor allem über eine aktuelle und hochgenaue digitale Karte. Erhöhte Vorausschau ist die Voraussetzung für automatische Fahrfunktionen und eine an die Fahrsituation angepasste Fahrerübernahmeaufforderung im HAF-Betrieb.

Zur Ausarbeitung des gesamten Spektrums der in Ko-HAF benötigten Disziplinen war eine übergreifende Zusammenarbeit notwendig. Es waren sowohl Qualifikationen seitens der Automobilindustrie (Hersteller sowie Zulieferer), von kleinen, mittelständischen Unternehmen sowie von Hochschul- und Forschungsinstituten notwendig. Neben der Zusammenarbeit in den einzelnen Teilprojekten wurde auch eine Vielzahl von gemeinsamen Erprobungen sowohl in den Teilprojekten als auch projektübergreifend durchgeführt.

Die AUDI AG als Partner des Ko-HAF-Konsortiums lieferte dabei Beiträge zu den Themenkomplexen:

- Definition der Schnittstelle zwischen einem Server-Backend und einem Fahrzeug-Frontend
- Nutzung von digitalen Karten für hochautomatisierte Fahrfunktionen
- Untersuchung des Fahrers als Teil eines HAF-Systems
- Entwicklung von neuen HAF-Funktionen (Einfädeln)
- Methodik für das Testen von HAF-Funktionen

#### 19. Schlagwörter

Digitale Karten, Safety Server, Hochautomatisiertes Fahren, Kooperative Fahrzeugführung

#### 20. Verlag

-

#### 21. Preis

-

## 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	
4. author(s) (family name, first name(s)) Dr. Karl-Heinz Siedersberger Klaus Schmiedhofer Sebastian Skibinski Veronika Weinbeer Sebastian Bayerl Dr. Ulrich Hofmann	5. end of project November 2018
	6. publication date June 17 <sup>th</sup> , 2019
	7. form of publication Document
8. performing organization(s) (name, address)  AUDI AG 85045 Ingolstadt	9. originator's report no.
	10. reference no. 19 S 14002 B
	11. no. of pages 2
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 11019 Berlin	13. no. of references 19
	14. no. of tables 11
	15. no. of figures 49
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Projektträger Mobilität und Verkehrstechnologien, Am Grauen Stein, 51105 Köln Ingolstadt, June 17 <sup>th</sup> , 2019	

18. abstract

The research project Ko-HAF – cooperative highly automated driving – had the aim increasing efficiency and safety on German Autobahnen up to 130 km/h. Highly automated driving is characterized by an automatic vehicle guidance (longitudinal and lateral control). The driver has to resume the driving task after as sufficient time. These are Level3 functions In context of SAE-specification.

The first generation of highly automated driving (HAD) are functions of low velocities in simple traffic situation e.g. in traffic jam situations on Autobahnen. For these functions only vehicle sensors are used. The second generation of HAD-functions are focused on higher velocities in structured environment like German Autobahnen to increase safety, efficiency and comfort. To reach this aim an enormous innovation skip was necessary. The range of onboard environment sensors like radar or lidar has to be increased. The solution for this challenge was using high density digital maps

To create solutions for all research questions in Ko-HAF a broad number of different disciplines like automotive engineers, communication engineers, Human factors specialists is necessary. All these qualifications are found in automotive industry, in small companies or in universities or research institutes.

The AUDI AG was one of the Ko-HAF partners. The focus of work of Audi this research-project were the follow items:

:

- Definition of interface between a server-backend and a vehicle-frontend
- Use of high density digital map for highly automated driving functions
- Human factors in case of highly automated driving
- Development of new HAD functions like a filter in maneuver
- New methods for testing HAD functions

19. keywords

Digital Map, Safety Server, Highly Automated Driving, Cooperative Vehicle Guidance

20. publisher

-

21. price

-