

Inhalt

1	Präambel	2
2	Roadmap im Überblick	3
3	WAS? – zu erforschende Aspekte und Konzepte zum AVF	7
	3.1 Gesellschaftliche Akzeptanz und Ethik	7
	3.2 Verkehrskonzepte und gesellschaftliche Wirkung	8
	3.3 Rechtliche Aspekte und Regulierung	8
	3.4 Ökonomische Ebene	9
	3.5 Mensch als Nutzer, Lotse und Verkehrsteilnehmer	10
	3.6 Mobilitäts- und Fahrzeugkonzepte	11
	3.7 Automatisierte Fahrfunktionen	12
	3.8 Infrastruktur	12
4	WOMIT? – zu erforschende Technologien und Methoden für AVF	14
	4.1 Methoden zur Wirkungsanalyse	14
	4.2 Vorgehensweise zur Implementierung	14
	4.3 Nutzerbezogene Methoden	15
	4.4 Domänenübergreifende Architekturen	15
	4.5 Entwicklungsmethoden	16
	4.6 Technologie-Bausteine	17
	4.7 Künstliche Intelligenz	18
	4.8 Absicherung & Risikomanagement	19
	4.9 Security	20
5	WIE? – etablierte und innovative Forschungsformate	21
6	Autoren	22

1 Präambel

Automatisiertes und vernetztes Fahren (AVF) wird für die Entwicklung von Mobilitäts- und Fahrzeugkonzepten, den Infrastrukturausbau und das Nutzerverhalten einer der Megatrends der nächsten Dekade sein. Die Potenziale sind vielfältig - für das Individuum ebenso wie für die Gesellschaft insgesamt, für die Umwelt wie auch für Prosperität und die Wettbewerbsfähigkeit unserer Volkswirtschaft.

Für die Formulierung einer Forschungsroadmap ist die Verständigung über gemeinsame Ziele ausschlaggebend. Verschiedene Stakeholder im Bereich der Mobilität können auf Basis dieses Verständnisses kooperieren, um mit Hilfe des AVF das Verkehrssystem zu transformieren und den Technologiestandort Deutschland signifikant weiterzuentwickeln.

Das vorliegende Dokument wurde durch das Dialogforum Automatisiertes und Vernetztes Fahren initiiert und auf gemeinsamen Wunsch des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) und des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) durch die in UniDAS e.V. vereinten Professoren sechs verschiedener Universitäten konzipiert. Diese AVF-Roadmap ist ein „lebendes“ Dokument (Stand April 2019), in das mittlerweile die Expertise weiterer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eingeflossen ist und auf Grundlage der Ergebnisse des Dialogforums weiter ergänzt werden soll.

Der Fokus dieser Betrachtung liegt auf dem straßengebundenen Verkehr zum Transport von Menschen und Gütern einschließlich der Interaktion mit anderen Verkehrsmitteln zu Luft, zu Wasser und auf der Schiene.

2 Roadmap im Überblick

Die Gestaltung der Mobilität von morgen im allgemeinen sowie die Entwicklung, Absicherung und Implementierung der automatisierten und vernetzten Mobilität im speziellen ist mit **Herausforderungen** verbunden, die sich **unterschiedlichen Ebenen** zuordnen lassen.

1. Auf gesellschaftlicher Ebene gilt es, Mobilität und Transport nachhaltig zu verbessern, wozu Technologien zum automatisierten und vernetzten Fahren beitragen können.

2. Rechtliche Ebene: Auf Grundlage einer wissenschaftlich fundierten Bewertung der Potentiale und Herausforderungen des Automatisierten und Vernetzten Fahrens (AVF) gilt es, notwendige Anpassungen des rechtlichen Rahmens in Abhängigkeit von der Automatisierungsstufe zu identifizieren und diskutieren.

3. Auf der ökonomischen Ebene gilt es, sowohl den makroökonomischen Gestaltungsbedarf zu diskutieren, als auch mikroökonomisch funktionierende Geschäftsmodelle zu etablieren, die wiederum durch die rechtlichen Rahmenbedingungen beeinflusst werden.

4. Die Akzeptanz der Nutzer hängt unmittelbar vom Mehrwert der automatisierten und vernetzten Funktionen ab. Akzeptanz und Vertrauen sind Grundvoraussetzungen für die faktische Nutzung. Eine verstärkte nutzer- und bedarfsorientierte Betrachtung erscheint geboten. Doch nicht nur die nutzerseitige Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen, sondern auch die Interaktion mit Verkehrsteilnehmern und Lotsen gilt es zu gestalten.

5. Auf der technischen Ebene gilt es, die automatisierte und vernetzte Mobilität zu gestalten und abzusichern. Dabei sind nicht nur die technischen Anforderungen, sondern auch die Anforderungen, die aus den anderen Ebenen resultieren, erfüllen.

Um neben den Herausforderungen und Handlungsbedarfen, die sich klar einer der fünf Ebenen zuordnen lassen, sind auch die **Wechselwirkungen zwischen den Ebenen** zu analysieren und zu gestalten.

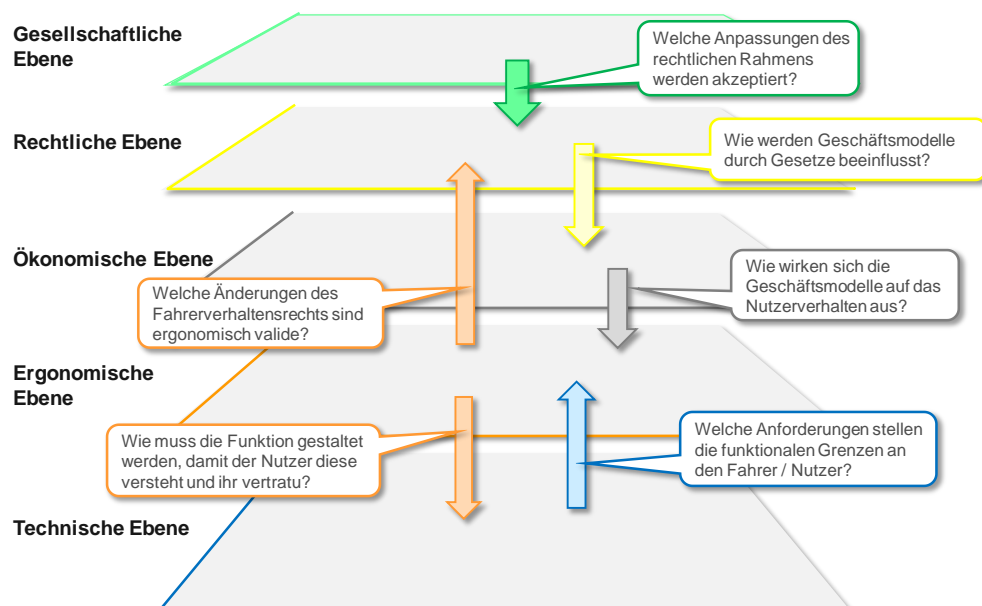


Bild 1. Ebenen der Herausforderungen und beispielhafte Wechselwirkungen

Bild 1 skizziert die fünf Ebenen und beschreibt beispielhaft einige der Wechselwirkungen zwischen den fünf Ebenen. Um diese systematisch zu identifizieren, werden zunächst die Herausforderungen auf den Ebenen selbst analysiert und damit beschrieben, **WAS** auf den fünf Ebenen gestaltet werden muss (Tabelle 1). Erläuterungen dazu finden sich in Kapitel 3.

Anschließend wird in Tabelle 2 zusammengefasst und in Kapitel 4 ausgeführt, **WOMIT** die automatisierte und vernetzte Mobilität gestaltet und bewertet werden kann, d.h. welche Technologien, Kompetenzen und

Methoden dazu erforderlich sind. Auch dieser Forschungsbedarf lässt sich den oben vorgestellten Ebenen zuordnen.

Schließlich wird in *Tabelle 3* dargestellt und in Kapitel 5 diskutiert, **WIE** bzw. in welchen Formaten diese Forschung stattfinden und die Transformation der Mobilität erreicht werden kann.

Tabelle 1: Roadmap, WAS bzgl. des AVF zu erforschen ist (mit Kümmerer)*

WAS ?	Kurzfristig	Mittelfristig	Langfristig
<p>Ebene 1: Gesellschaftliche Akzeptanz & Ethik Prof. Grunwald*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gesellschaftlich akzeptiertes Risiko ▪ Rollenverteilung Mensch – Roboter ▪ Akzeptanz, Nutzen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Umgang mit KI ▪ Wechselwirkung ziviler und hoheitlicher Anwendungen ▪ Zugangsgerechtigkeit ▪ Umgang mit Abhängigkeit von digitaler Technologie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nachhaltige Mobilität ▪ Verschiebungen im Mensch/Technik-Verhältnis
<p>Ebene 1: Verkehrskonzepte und gesellschaftliche Wirkung Prof. Lenz*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verkehrsleitkonzepte und Verkehrsleistung ▪ Zugänglichkeit und Kosten von Mobilität ▪ Intermodale Konzepte ▪ Wandel d. Beschäftigung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ländlicher Raum ▪ Reduzierung von Emissionen ▪ Rollen von Städten, Ländern und Bund ▪ Güterverkehr & Logistik 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stadt- und Siedlungsentwicklung ▪ Auflösen der Grenze zwischen ÖPNV und Individualverkehr
<p><i>Ebene 2: Rechtliche Aspekte und Regulierung</i> <i>(aus Sicht Uni-DAS e.V.)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Verhaltensregeln für automatisierte Fahrzeuge</i> ▪ <i>Datennutzung im internationalen Kontext</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Haftung bei vernetzten / kooperativen Funktionen</i> ▪ <i>Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer</i> ▪ <i>Unabhängigkeit hoheitlicher Aufgaben</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Verantwortung von Maschinen</i> ▪ <i>Hoheitliche Instanz im Verkehr</i>
<p><i>Ebene 3: Ökonomische Aspekte</i> <i>(aus Sicht Uni-DAS e.V.)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Volkswirtschaftliche Rahmenbedingungen im internationalen Wettbewerb</i> ▪ <i>Kooperationsformate</i> ▪ <i>Geschäftsmodelle</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Harmonisierung</i> ▪ <i>Internationalisierung von Geschäftsmodellen</i> ▪ <i>International attraktive Rahmenbedingungen</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>ökonomische Dimension der Produktsicherheit</i>
<p>Ebene 4: Mensch (Nutzer, Lotse, Verkehrsteilnehmer) Prof. Bengler*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anzahl und Qualität von Automatisierungsmodi ▪ Fahrverhalten von L5 ▪ Interaktion von automatisierten Fahrzeugen mit nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmern 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verhaltensadaption ▪ Interaktion von und zu Leitwarten/Lotsen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Habituation ▪ Entwicklung einer Nutzerroadmap ▪ Automatisierungskonzepte der nächsten Generation
<p>Ebene 5: Mobilitäts- und Fahrzeugkonzepte Prof. Eckstein*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fahrerlose Shuttles und Taxis für vielfältige Nutzer ▪ Mikromobilität, Last Mile ▪ Fahrerlose Taxis ▪ Automatisierung des Güterverkehrs 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Innerstädtischer Lieferverkehr ▪ Kombination von Luft- und Kraftfahrzeugen ▪ Leitwarten und digitaler Zwilling des Verkehrs 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mobilisierung „eingeschränkter“ Personen ▪ Kollektives Gedächtnis
<p>Ebene 5: Automatisierte Fahrfunktionen Prof. Maurer*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatisiertes Parken ▪ Autobahn-pilot ▪ Level 3+ Systeme in urbanen Umgebungen ▪ Grenzfälle ▪ Kooperation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatisiertes Fahren auf überörtlichen Straßen (Bundes- und Landesstraßen, ohne BAB)Kooperatives automatisiertes Fahren ▪ Infrastrukturgestütztes automatisiertes Fahren 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Direkt kommunizierende Automobile (NF SPP Kooperative interaktive Automobile) ▪ Kollektive Trajektorienkoordination
<p>Ebene 5: Infrastruktur Prof. Dietmayer*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 5G Kommunikationsinfrastruktur ▪ Mobile-Edge Computing ▪ Mindeststandards der baulichen Infrastruktur 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestaltung des Straßenraumes/ (auch: intermodale Knotenpunkte) ▪ Fußgänger & Zweiräder ▪ Lokale Vorverarbeitung ▪ Fahrzeuglokalisierung ▪ Verlässliche Netzwerke 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Urbaner Lebensraum der Zukunft

Alle drei Fragenkomplexe lassen sich in unterschiedliche Zeithorizonte einteilen, wobei die **kurzfristigen** Forschungsbedarfe anwendungsorientiert sind, der **mittelfristige** Zeithorizont auf Konzepte und Methoden zielt, für die es noch keinen konkreten Einsatztermin gibt, während die als **langfristig** klassifizierten Forschungsbedarfe auf neue Prinzipien abzielen, die ebenfalls jetzt erforscht werden sollten, damit sie in ca. 10 Jahren wirksam bzw. genutzt werden können. Die in *Tabelle 1* gezeigte Grundstruktur der Roadmap beschreibt, **WAS** im Sinne einer Lösung hinsichtlich des Automatisierten und Vernetzten Fahrens erforscht und gestaltet werden sollte.

Tabelle 2: Kompetenzen und Methoden zur Realisierung des AVF (inkl. Kümmerer)*

WOMIT ?	Kurzfristig	Mittelfristig	Langfristig
<p>Ebene 1</p> <p>Methoden zur Wirkungsanalyse</p> <p>Prof. Eckstein*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prognose der Nachfrage ▪ Kurzfristige Auswirkung von AVF auf Verkehrseffizienz und Sicherheit ▪ AVF Unfalldatenerhebung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Methoden zur mittelfristigen Wirkungsprognose ▪ Auswirkungen der „sharing economy“? ▪ Ökologische Bewertung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prinzipien zum kontinuierlichen Lernen aus relevanten Szenarien ▪ Prinzipien zur langfristigen Antizipation von komplexen Auswirkungen
<p>Ebene 2</p> <p>Vorgehensweise zur Implementierung</p> <p>Prof. Lenz*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verstehen des Sets an notwendigen Rahmenbedingungen: rechtliche und infrastrukturelle Voraussetzungen, Akzeptanzfaktoren, sonstige? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konzepte zur Übertragbarkeit auf nationale und internationale Kontexte ▪ Effiziente Konzepte zur Klärung von Schuldfragen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Umsetzungsmonitoring
<p>Ebene 4:</p> <p>Nutzerbezogene Methoden</p> <p>Prof. Bengler*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Methodischer Einbezug verschiedener Nutzergruppen in die Konzeption ▪ Gütemaße und Kriterien ▪ Vermittlungsmethoden ▪ Prognose Nutzerakzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nutzerbegleitforschung ▪ Gestaltungskriterien für Leitwarten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Methoden zur Prognose von Verhaltensänderungen der Endnutzer bezüglich Fahrzeugnutzung und Mobilität
<p>Ebene 5:</p> <p>Domänenübergreifende Architektur</p> <p>Prof. Maurer*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Architektur für Plug&Play ▪ Funktionsfreie Software-Architekturen ▪ Flexible rekonfigurierbare Architekturen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Architektur des Umgebungsmodells ▪ Selbstüberwachung und Fähigkeiten 	
<p>Ebene 5:</p> <p>Entwicklungsmethoden</p> <p>Prof. Eckstein*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mehrskalige Simulation ▪ Menschliche Fahrerleistung als Referenz für AVF ▪ Modellierung von Sensoren und Umfeld, Verkehr 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erweiterung Funktionale Sicherheit ▪ Kopplung von AR/VR mit realen Instanzen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AVF Code of Practice ▪ xD-Umfeldmodellierung
<p>Ebene 5:</p> <p>Technologie-Bausteine</p> <p>Prof. Dietmayer*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wahrnehmungssysteme ▪ Verhaltensentscheidung ▪ Aktoren 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sensortechnologien ▪ Neue Akteurprinzipien 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Self-Awareness ▪ Quantencomputing
<p>Ebene 5:</p> <p>Künstliche Intelligenz</p> <p>Prof. Stiller*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trainingsdatenbanken ▪ Prozessmodell für KI ▪ Sicherheitsbewertung ▪ Prozessmodell für sichere KI 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ HD Umgebungsmodell für virtuelle Rohdaten ▪ Konzepte zu verteiltem Lernen ▪ Absicherung von KI-Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ KI-Verfahren der nächsten Generation ▪ Sichere selbstlernende Algorithmen
<p>Ebene 5:</p> <p>Absicherung & Risikomanagement</p> <p>Prof. Winner*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maße zur Risiko-Prognose ▪ Validierungsmethoden für Modelle zum virtuellen Testen ▪ Referenzszenarien für städtische und ländliche Umgebung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mikroskopische Risiko-Bewertung für Safety-by-Design ▪ Zu Szenarienbasierten Testen alternative Nachweismethoden ▪ Silent-Testing-Konzepte und Qualifizierung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Qualifizierung von Reinforcement Learning-Ansätzen ▪ Valide synthetische HD-Welten ▪ Effiziente Simulationstechniken für virtuelle HD-Tests
<p>Ebene 5:</p> <p>Security</p> <p>Prof. Eckstein*</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entwicklungsmethoden ▪ Secure Updates ▪ Erkennen von Angriffen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sichere Datenbereitstellung ▪ inhärente Begrenzung der Auswirkungen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Neue kryptografische Verfahren

Tabelle 2 adressiert analog zu Tabelle 1, **WOMIT** das automatisierte und vernetzte Fahren der Zukunft realisiert werden kann, d.h. welche **Technologien, Kompetenzen und Methoden** dazu erforderlich sind und deshalb ebenfalls erforscht werden müssen.

Während die Tabelle 1 primär den automatisierten und vernetzten Straßenverkehr adressiert, eignen sich die in Tabelle 2 genannten und zu erforschenden Technologien, Kompetenzen und Methoden für die Automatisierung und Vernetzung unterschiedlichster Verkehrsträger. Auch diese methodischen Forschungsbedarfe werden den drei Zeithorizonten zugeordnet, da die zu erzielenden Ergebnisse unterschiedlich rasch wirksam werden.

Schließlich geht es in der Tabelle 3 um die Frage, **WIE** die in den voranstehenden Tabellen aufgeführten Forschungsfelder und –themen adressiert werden können. Die etablierten Projektformate wurden über viele Jahre optimiert und haben sich bzgl. vieler Fragestellungen bewährt. Im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens ist der internationale Wettbewerb um die besten Köpfe, Konzepte und Unternehmen so stark, dass in Ergänzung agile Projektformate benötigt werden.

Der VDA hat dazu mit der **Leitinitiative** eine strukturierte Möglichkeit geschaffen, wie durch die Automobilindustrie initiierte Projekte schneller auf den Weg gebracht werden können. Auch im Bereich der Wissenschaft besteht ein erheblicher Bedarf, zündende Ideen mit hinreichend bemessenen Ressourcen deutlich schneller bearbeiten zu können. Universitäten sind diesbezüglich gegenüber außeruniversitären Forschungseinrichtungen des Bundes finanziell benachteiligt, da eine vergleichbare Grundfinanzierung fehlt und nicht die Vollkosten abgerechnet werden können.

Diese Situation führt zunehmend dazu, dass hervorragende Wissenschaftler in andere Wirtschaftsräume und Unternehmen auch im Ausland abwandern und für Forschung und Lehre damit nicht mehr zur Verfügung stehen. Nur die Universitäten bilden jedoch den wissenschaftlichen Nachwuchs aus, was wiederum nur möglich ist, wenn Forschung und Lehre nachhaltig und zu Vollkosten finanziert sind.

Tabelle 3: *Formate – WIE können die Forschungsbedarfe adressiert werden? Neue Formate kursiv*

WIE	Kurzfristig	Mittelfristig	Langfristig
Systemische Innovationspolitik	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Transdisziplinäre Formate (z.B. Reallabore) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projekte der Leitinitiative 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ begleitende Innovationsfolgenforschung, Monitoring
Industrie- bzw. marktnahe Projekte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projekte der Leitinitiative 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projekte der Leitinitiative 	
Forschungsorientierte Projekte, inkl. Methoden	<ul style="list-style-type: none"> ▪ BMWi, BMVI, BMBF-Projekte zu <i>Vollkosten</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ BMBF-Projekte zu <i>Vollkosten</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ BMBF-Projekte
Projekte zur Grundlagenforschung			<ul style="list-style-type: none"> ▪ DFG Normalverfahren ▪ DFG SFB Transregio ▪ DFG SPP
<i>Neue Formatideen (kursiv)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Scientist's Pitch Grant</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Treuhandprojektmittel</i> ▪ <i>Exzellenzverbund für Automatisiertes und vernetztes Fahren / Mobilität</i> 	
<i>Sukzessive Projekte</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>3. Phase: BMWi, BMVI</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>2. Phase: BMBF oder DFG-Transferprojekt</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>1. Phase DFG</i>

Diese Handlungsfelder und Forschungsformate werden in Kapitel 5 konkretisiert und begründet.

3 WAS? – zu erforschende Aspekte und Konzepte zum AVF

Nachfolgend wird jede der Fahrspuren der in Tabelle 1 gezeigten Roadmap in einem eigenen Unterkapitel motiviert und beschrieben, um anschließend den kurz-, mittel- und langfristigen Forschungsbedarf zu erläutern.

3.1 Gesellschaftliche Akzeptanz und Ethik

Das automatisierte und vernetzte Fahren hat das Potential, zu einer positiven Entwicklung einer Gesellschaft beizutragen. Während die Vernetzung zwischen Verkehrsteilnehmern und Infrastruktur keine Fragen bezüglich der Rollenverteilung zwischen Mensch und Maschine aufwirft, ist das insbesondere für höhere Automatisierungsstufen durchaus der Fall. Damit stellen sich auch ethische Fragen, die in Deutschland durch die sog. Ethikkommission adressiert wurden [Quelle]. Die ethische Diskussion kann sich auf Fragen der Akzeptanz automatisierter Mobilitätsformen auswirken. Für Akzeptanz wichtiger ist jedoch der unmittelbar wahrgenommene Nutzen dieser Technologien. Damit stellt sich auch die Frage, wie der **Nutzen aber auch Risiken** (1) prospektiv erforscht und (2) transparent und nachvollziehbar kommuniziert werden können, einschließlich einer faktenbasierten Information über aktuelle Entwicklungen und Ereignisse, wie z.B. Unfälle.

Kurzfristig gilt es, zusätzlich die folgenden Aspekte zu adressieren, damit automatisiertes und vernetztes durch die Gesellschaft aktiv gestaltet werden kann, wodurch die Bedingungen für Akzeptanz verbessert werden:

- Wie kann ein gesellschaftlicher Konsens bzgl. des **akzeptierten Risikos** erreicht werden und wie kann er dann aussehen? Wie können zwecks Quantifizierung des Risikos Unfälle mit automatisierten Fahrzeugen systematisch erfasst und mit etablierten Risiken etwa des bisherigen Verkehrs verglichen werden?
- Welche **Rollenverteilung zwischen Mensch und Roboter** ist generell anzustreben und was heißt das für das automatisierte Fahren? Wie sind ethische und juristische Verantwortlichkeiten zwischen den Akteursgruppen verteilt? Wo liegt jeweils die Letztkontrolle?
- Wie können die Bedingungen für **Akzeptanz** verbessert werden, wie lassen sich Chancen und Risiken verständlich machen, damit sie nachvollziehbar abgewogen werden können? Wie können Stakeholder und Bürger beteiligt werden?

Mittelfristig werden folgende Themenfelder zunehmend relevant:

- Wie kann der **Umgang mit Künstlicher Intelligenz** gesellschaftlich gestaltet werden, so dass diese der Gesellschaft nützt und nicht zur Bedrohung wird?
- Wie kann sichergestellt werden, dass durch AVF die **Zugangsgerechtigkeit** zu Mobilitätsdienstleistungen verbessert wird (z.B. ländlicher Raum)?
- Wie kann mit der zunehmenden **Abhängigkeit** von digitalen Technologien verantwortlich umgegangen werden?
- Wie kann bei internationalen Kooperationen vermieden werden, dass durch deutsche Steuergelder finanzierte Forschungsergebnisse in „hoheitliche Anwendungen“ im Ausland einfließen?

Langfristig gilt es, die folgenden Themen zu adressieren:

- Wie kann Mobilität durch neue Mobilitätskonzepte nachhaltiger gestaltet werden?
- Wie kann gesichert werden, dass langfristig nicht Menschen zu bloßen Erfüllungsgehilfen digitaler Systeme werden?

3.2 Verkehrskonzepte und gesellschaftliche Wirkung

Angesichts einer zunehmenden Überlastung der heutigen Verkehrsinfrastruktur stellt sich die Frage, wie Technologien der Automatisierung und Vernetzung zu einer Weiterentwicklung von Verkehrskonzepten beitragen können. Damit einher geht die Frage nach der Bewertung der gesellschaftlichen Wirkung: neben Aspekten wie der objektiven Verkehrsleistung und des Ressourcenbedarfs spielen die Bezahlbarkeit und „Erreichbarkeit“ (accessibility) eine wichtige Rolle. Aber auch die Erhöhung des Komforts bei gleichzeitig erhöhter Sicherheit im Vergleich zum heutigen Verkehrsgeschehen stellt ein wesentliches Ziel dar. Nachdem insbesondere das fahrerlose Fahren den menschlichen Fahrer durch maschinelle Wahrnehmung, Kognition und Handlung in Verbindung mit einer Lotsen in einer Leitwarte ersetzt, stellt sich auch die Fragen, wie sich die Beschäftigung im Zuge der Einführung des automatisierten und vernetzten Fahrens wandeln wird.

Kurzfristig gilt es, die folgenden Themen zu adressieren, damit automatisiertes und vernetztes für die Gesellschaft einen objektiven Nutzen bringt:

- Welche **Verkehrsleitkonzepte** können kurzfristig zu einer **Erhöhung der Verkehrsleistung** beitragen (Personen und Güter)?
- **Verkehrssystemansätze**: Wie können automatisierte und vernetzte Verkehrsträger kombiniert werden, um die eingangs formulierten Ziele zu erreichen?
- Welches Potential haben Konzepte zum automatisierten und vernetzten Fahren, um die **Zugänglichkeit** und die **Kosten von Mobilität** zu verbessern, auch für ältere Menschen und solche mit Einschränkungen?
- Wie kann durch automatisierte Fahrzeuge und Mobilitätsdienste das Zusammenspiel unterschiedlicher Verkehrsträger und Fahrzeuge verbessert werden (**Intermodalität**)?
- Mit welchem **Wandel der Beschäftigung** und der Beschäftigungsstruktur ist zu rechnen bzw. wie kann dieser gestaltet und begleitet werden? Der Bedarf an Berufskraftfahrern wird zumindest nicht weiter wachsen, andere Berufe entstehen. Welche Qualifikationsprogramme sind erforderlich in der beruflichen Bildung, akademischen Lehre und Weiterbildung?

Mittelfristig werden folgende Themenfelder zunehmend relevant:

- Welche Potentiale hat AVF mittelfristig, um z.B. den **ländlichen Raum** besser zu erschließen?
- In welchem Umfang können Automatisierung und Vernetzung zur **Reduzierung von Emissionen** des Verkehrs (Luftschadstoffe und CO₂, Lärm) beitragen?
- Welche **Rollen** können/sollen **Städte, Länder und der Bund** spielen, um die gesellschaftliche Wirkung des Einsatzes von AVF positiv zu beeinflussen?

Langfristig werden folgende Themen relevant, die in der Grundlagenforschung adressiert werden sollten:

- Welches Potential hat AVF, um die **Stadt- und Siedlungsentwicklung** zu beeinflussen?
- Wie kann die bisherige **Grenze zwischen ÖPNV und Individualverkehr** aufgelöst und damit eine höhere Verkehrsleistung erzielt werden?

3.3 Rechtliche Aspekte und Regulierung

Diese Fahrspur der Roadmap adressiert rechtliche Aspekte und Fragen der Regulierung Sicht von nicht-juristischen Experten unterschiedlicher Disziplinen. Verkehr lässt sich als Zusammenwirken von Verkehrsteilnehmern, Fahrzeugen und Umfeld beschreiben. Die **Regulierung** adressiert entsprechend den Fahrer bzw. Nutzer, den Hersteller bzw. die Fahrzeuge in Form von Zulassungsbestimmungen aber auch die Infrastruktur. Zukünftig werden Mobilitätsdienste und damit -daten eine große Rolle spielen, weshalb es sinnvoll sein kann, den Diensteanbieter wie in Bild 2 gezeigt explizit aufzuführen.

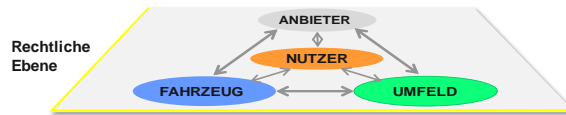


Bild 2: Struktur der rechtlichen Ebene

Ziel dieser Fahrspur ist, notwendige Anpassungen des **rechtlichen Rahmens** in Abhängigkeit von der Automatisierungsstufe zu identifizieren und zu adressieren.

Kurzfristig gilt es, die folgenden Themen zu adressieren, damit automatisiertes und vernetztes Fahren im öffentlichen Straßenverkehr von Anfang an ein möglichst hohes Maß an Akzeptanz gewinnen kann.

- Die Straßenverkehrsordnung adressiert menschliche Verkehrsteilnehmer und fußt auf deren Leistungsvermögen. Die strikte Einhaltung dieser **Verhaltensregeln** durch automatisierte Fahrzeuge würde nicht nur den Verkehrsfluss beeinträchtigen, sondern auch die Akzeptanz dieser potentiell sehr leistungsfähigen maschinellen Fahrer. Deshalb stellt sich konkret die Frage, ob automatisierte Fahrzeuge (Level 3+) kürzere Abstände fahren können, sofern ihre Reaktionszeit kürzer als diejenigen menschlicher Fahrer ist, um sich in den Verkehr einzufügen?
- Die Optimierung automatisierter Fahrfunktionen analog zum Lernen des menschlichen Fahrers setzt die Sammlung und **Nutzung von „Erfahrungsdaten“** voraus, wie sie heute schon durch internationalen Fahrzeughersteller mit Wurzeln in der IT praktiziert wird. Deshalb ist ein geeigneter Umgang mit Verordnungen zum Datenschutz zu definieren, der international wettbewerbsfähige Konzepte einerseits, aber auch die datenbasierte Überprüfung der Ziele hinsichtlich der Steigerung von Verkehrssicherheit und Effizienz erlaubt.

Mittelfristig werden folgende Aspekte zunehmend relevant:

- **Kooperative, auf Vernetzung basierende Funktionen** beeinflussen das Verhalten nicht mehr auf Basis der Ziele des einzelnen Fahrzeugs, sondern beziehen übergeordnete Kriterien ein. Damit stellt sich **haftungsrechtliche Fragen** nicht nur für den Fall eines Fehlers oder einer ausbleibenden Informationsübertragung, sondern auch, wenn für das kooperative Fahrzeug ein offensichtlicher Nachteil entstehen würde. Deshalb sollten die Regelungen bzgl. Verantwortlichkeit und Haftung, Haftungsdomänen, ggf. Haftungshöchstsätze überprüft werden.
- Automatisierte Fahrzeuge werden sich voraussichtlich grundsätzlich defensiv verhalten, was durch andere Verkehrsteilnehmer ausgenutzt werden könnte. Deshalb stellt sich die Frage, ob spezielle **Verhaltensregeln gegenüber automatisierten Fahrzeugen** sinnvoll sein könnten, oder automatisierte Fahrzeuge beispielsweise Regelverstöße anderer Verkehrsteilnehmer geeignet dokumentieren dürfen.
- Nachdem die Verkehrssteuerung eine **hoheitliche Aufgabe** darstellt, stellt sich die Frage, wie mit potentiellen Abhängigkeiten von privatwirtschaftlich erzeugten Verkehrsdaten umgegangen werden sollte bzw. wie diese Abhängigkeiten systematisch vermieden werden könnten.

Langfristig sollten durch die Grundlagenforschung folgende Aspekte adressiert werden:

- Welche langfristigen Änderungen könnten hinsichtlich der Verantwortung von Maschinen angestrebt werden und was würde dies für die Gestaltung des rechtlichen Rahmens bedeuten?
- Ist die Einrichtung einer hoheitlichen Instanz zur ggf. situativen Genehmigung des automatischen Fahrens auf bestimmten Straßen sinnvoll, um beispielsweise im Katastrophenfall ein koordiniertes Verhalten automatisierter Fahrzeuge herbeizuführen?

3.4 Ökonomische Ebene

Auf der ökonomischen Ebene gilt es zum einen, die volkswirtschaftliche Dimension des automatisierten und vernetzten Fahrens zu beleuchten, zum anderen, die betriebswirtschaftlichen Herausforderungen und Randbedingungen zu adressieren. Analog zur rechtlichen Ebene beschränkt sich die nachfolgende Darstellung auf die Sicht von interdisziplinären Experten, die keine Wirtschaftswissenschaftler sind.

Volkswirtschaftlich betrachtet steht Deutschland in Wechselwirkung mit großen internationalen Wirtschaftsräumen, in denen viele Milliarden Dollar aus unterschiedlichsten Quellen (z.B. staatlich, IT-

Industrie, Wagniskapital) in Technologien und Anwendungen zum automatisierten und vernetzten Fahren fließen und damit neue Arbeitsplätze und ein Beitrag zum BIP geschaffen werden.

Betriebswirtschaftlich betrachtet sind funktionierende Geschäftsmodelle Voraussetzung für die Realisierung und Markteinführung neuer Technologien und Angebote. Zentral war bislang die Zahlungsbereitschaft des Nutzers, doch sind in anderen Lebensbereichen längst neue Geschäftsmodelle erfolgreich, die auch auf der Erhebung und Verwertung von Daten beruhen (z.B. Facebook).

Auf der Kostenseite wird immer deutlicher, dass der Aufwand zur Entwicklung und Absicherung der notwendigen Technologien zum automatisierten und vernetzten Fahren durch ein einzelnes Unternehmen kaum zu tragen ist. Ferner ist offensichtlich, dass Automatisierung und Vernetzung nicht nur für zivile, sondern auch für hoheitliche/militärische Anwendungen erforscht und entwickelt werden, was zusätzliche Fragen und Herausforderungen aufwirft.

Kurzfristig gilt es, die folgenden Themen zu adressieren, damit automatisiertes und vernetztes Fahren volkswirtschaftlich eine positive Wirkung entfalten kann, was betriebswirtschaftlich funktionierende Geschäftsmodelle voraussetzt:

- Wie können die **volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen** zur Entwicklung und Implementierung von Konzepten zum automatisierten und vernetzten Fahren im internationalen Kontext gestaltet und bewertet werden?
- Welche **Kooperationsformate** sind einerseits sinnvoll und notwendig, andererseits kartellrechtlich zulässig, um den Aufwand zur Entwicklung und Absicherung zu verteilen?
- Welche **Geschäftsmodelle** sind für Unternehmen einerseits, aber auch für Städte und Gemeinden andererseits tragfähig, damit die notwendigen Investitionen entschieden, aber auch amortisiert werden können?

Mittelfristig werden folgende Aspekte zunehmend relevant:

- Welche international **harmonisierte Rahmenbedingungen** sind erforderlich, damit automatisiertes und vernetztes Fahren ökonomisch und damit international funktionieren kann?
- Welche weiteren Voraussetzungen sind für eine erfolgreiche **Internationalisierung** der Geschäftsmodelle zu schaffen?
- Wie kann die Forschung und Entwicklung in Deutschland **international attraktiv** gestaltet werden, um nicht nur Unternehmen und Forscher in Deutschland zu halten, sondern auch aus anderen Ländern anzuziehen?

Langfristig sollte die **ökonomische Dimension der Produktsicherheit** adressiert werden, da Fahrzeuge und Mobilitätskonzepte über längere Zeiträume betrieben werden und damit immer wieder sicherheitsrelevante Ereignisse entstehen können. Diese können zu hohen finanziellen Forderungen der potentiell Geschädigten führen, wie es bereits heute insbesondere in den U.S.A. der Fall ist.

3.5 Mensch als Nutzer, Lotse und Verkehrsteilnehmer

Der Mensch interagiert in unterschiedlichen Rollen mit automatisierten und vernetzten Fahrzeugen. Er kann automatisiertes Fahren aktiv nutzen, indem er sich fahren lässt, oder passiv nutzen, indem er z.B. Lieferungen erhält, die mit Hilfe dieser Technologien transportiert wurden. Eine zweite Rolle wird in Analogie zur Luftfahrt diejenige des Lotsen sein: jedes fahrerlose Fahrzeug, das sich im öffentlichen Straßenverkehr bewegt, muss durch Menschen in einer Leitwarte überwacht und ggf. gelotst werden. Diese Rolle ist zu definieren, die Rahmenbedingungen sind zu gestalten, die Interaktion zwischen Lotsen, Fahrzeugen und Nutzern ist zu definieren. Aber auch als Verkehrsteilnehmer begegnet der Mensch automatisierten und vernetzten Fahrzeugen – nicht nur auf der Straße, aber dort sehr unmittelbar. Auch diesbezüglich stellen sich zahlreiche Fragen, da z.B. eine direkte Kommunikation zwischen Fußgänger und Fahrzeugführer nicht mehr auf die gleiche Art und Weise möglich sein wird.

Kurzfristig gilt es, die folgenden Themen zu adressieren, damit automatisiertes und vernetztes Fahren „menschzentriert“ gestaltet werden kann:

- **Welche und wie viele Automatisierungsmodi** können/dürfen in einem Fahrzeug mit welcher Gestaltung der Transitionen angeboten werden, um wissenschaftlich belegte Phänomene wie z.B. Mode Confusion zu vermeiden?

- Wie lässt sich die aktuell realisierbare **Funktionsqualität** für den Nutzer transparent darstellen? Welche Anforderungen stellt umgekehrt die Ausgestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion an die notwendige Funktionsqualität?
- Welches **Fahrverhalten** sollen **fahrerlose Systeme** aufweisen, damit es von ihren Nutzern akzeptiert wird?
- Welche Formen der **Interaktion** sollten automatisierte Fahrzeuge **mit nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmern** wählen und welche Anforderungen resultieren daraus an die Fähigkeiten?

Mittelfristig

- **Verhaltensadaption:** Wie wird sich das Verhalten nicht automatisierter Verkehrsteilnehmer insbesondere im Wechselspiel mit AVF bei sukzessiv zunehmender Marktmigration verändern? Ferner sollten die Effekte der Langzeitnutzung und das Nutzungsverhalten (ggf. im Feldbetrieb) untersucht werden
- Welche Form der **Interaktion ist aus einer Leitwarte** mit einem bzw. mehreren fahrerlosen Fahrzeugen ergonomisch sinnvoll?

Langfristig

- Wie werden im Sinne der **Habituation** unterschiedliche Automationskonzepte langfristig benutzt? Wie könnte eine „**Nutzerroadmap**“ aussehen?
- Wie könnte eine Automatisierung der nächsten Generation erlebbar dargestellt und menschenzentriert bewertet werden?

3.6 Mobilitäts- und Fahrzeugkonzepte

Automatisierung und Vernetzung ermöglichen neue Fahrzeug- und Mobilitätskonzepte, die sich gegenseitig bedingen. Beispielsweise führt das Angebot eines fahrerlosen Fahrdienstes in Form von autonomen Shuttles zu neuen Fahrzeugkonzepten, die keinen Platz für einen Fahrer vorsehen (top-down Betrachtung). Umgekehrt ermöglichen die Technologien zum automatisierten und vernetzten Fahren die Darstellung von kleinen fahrerlosen Fahrzeugen, die keinen Raum für den Fahrer bieten müssen, so dass die heute bereits etablierte Lieferung von Interneteinkäufen potentiell effizienter gestaltet werden könnte. Mobilitätskonzepte können in Zukunft innovative Fahrzeugkonzepte umfassen, wie z.B. automatisierte Luftfahrzeuge, die zwischen definierten Orten pendeln und demzufolge durch andere Transportmodi angeschlossen werden müssen.

Kurzfristig gilt es, die folgenden Themen zu adressieren, damit die Chancen des automatisierten und vernetzten Fahrens für den Transport von Personen und Gütern realisiert werden können.

- Wie können **fahrerlose Shuttles** den ÖPNV durch eine Ausweitung der bedienten Fläche, eine Steigerung der Flexibilität und damit folglich der Attraktivität ergänzen und infolge der stärkeren ÖPNV-Nutzung zu einer Senkung der Kosten beitragen?
- Wie kann die letzte Meile effizient und attraktiv zurückgelegt werden? Welche Rolle haben dabei **Mikromobilitätskonzepte**?
- Wie können **fahrerlose Taxis** gestaltet, implementiert und koordiniert werden?
- Welche Potenziale zur **Automatisierung** gibt es im **Güterverkehr**? Das sog. Truck Platooning erscheint aufgrund der notwendigen direkten und fehlertoleranten Kommunikation zwischen den Fahrzeugen deutlich aufwendiger als die Automatisierung einzelner Fahrzeuge.

Mittelfristig gilt es, das Potential innovativer Fahrzeug- und Mobilitätskonzepte zu adressieren:

- Welchen Beitrag kann Automatisierung leisten, um Konzepte für den **innerstädtischen Lieferverkehr** verkehrseffizienter, umweltfreundlicher und sicherer zu gestalten? Welche Rolle können dabei fahrerlose Fahrzeugkonzepte spielen, die ggf. kleiner als heutige Kraftfahrzeuge sind?
- Welches Potential liegt in der **Kombination von Luft- und Kraftfahrzeugen** zur automatisierten Beförderung von Personen und Gütern?

- Welche Rolle könnten **Leitwarten** spielen, z.B. zum effizienten Monitoring großer Flotten automatisierter Fahrzeuge? Welchen Beitrag kann ein **Digitaler Zwilling des Verkehrs** leisten, nicht nur aus der Perspektive des Mobilitätsanbieters, sondern auch aus derjenigen von Städten

Langfristig sollten folgende Themen durch Grundlagenforschung adressiert werden:

- Welche Konzepte sind geeignet, um **Personen, die derzeit keine Fähigkeit zum Führen eines Fahrzeugs haben**, individuelle motorisierte Mobilität zu ermöglichen?
- Wie kann die „Erfahrung“ automatisierter und nicht-automatisierter Verkehrsteilnehmer möglichst agil gesammelt und ausgewertet werden, um sie potentiell allen Verkehrsteilnehmern in Form eines „**kollektiven Verkehrsgedächtnisses**“ zur Verfügung zu stellen?

3.7 Automatisierte Fahrfunktionen

Die Auslegung von automatisierten Fahrfunktionen wird wesentlich bestimmt durch die Leistungsfähigkeit der maschinellen Wahrnehmung und das Risiko, das von diesen Fahrfunktionen ausgehen kann.

Risiken sind dem autonomen Fahren inhärent: Sie werden funktional überwiegend durch die Grenzen der maschinellen Wahrnehmung und durch die Interaktion von Verkehrsteilnehmer*innen mit dem automatisierten Fahrzeug verursacht. Systemische Ursachen resultieren aus der Komplexität der Fahrfunktionen und damit verbunden aus den unvollständigen und nicht widerspruchsfreien Anforderungen und deren unvollständiger Absicherung.

Kurzfristig gilt es, auf Basis eines **gesellschaftlichen Konsenses zum Umgang mit dem Risiko** Funktionen wie das **automatisierte Parken** und der **Autobahnpilot** abzusichern und in den Markt einzuführen, sofern die Risiken, die damit für die Gesellschaft verbunden sind, von den Herstellern der Systeme eingeschätzt und übernommen werden können.

Der Einsatz von **Level 3+-Systemen in urbanen Umgebungen** wird wesentlich davon abhängen, wie sie sich in den komplexen Situationen in der Stadt mit der **Vielzahl von Grenzfällen** bewähren werden. Während die Forschung für das automatisierte Fahren in der Stadt alle Akteure im Forschungsfeld noch Jahrzehnte beschäftigen wird, ist dennoch kurzfristig interessant, welche Fahrfunktionen in eingeschränkten „Operational Design Domains“ (ODD) bzw. Einsatzgebieten bereits in naher Zukunft hinreichend sicher dargestellt werden können. Fragen der **Kooperation** zwischen Verkehrsteilnehmern auch im Sinne der Kompensation von Fehlern anderer – ohne direkte Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation - werden bereits kurzfristig darüber entscheiden, ob Funktionen sicher und marktreif dargestellt werden können.

Mittelfristig werden die Autonomieerhöhung der Fahrzeuge auf Autobahnen und in der Stadt sowie ihre Absicherung eine wichtige Rolle in der Forschung spielen. Auch die Forschung am **Automatisierten Fahren auf Bundes- und Landstraßen** wird mittelfristig zunehmend relevant werden. Ferner stellt sich die Frage, in wie und unter welchen Randbedingungen **automatisiertes Fahren durch Infrastruktur unterstützt** werden kann.

Langfristig wird die Forschung an **direkt kommunizierenden Automobilen** in allen Domänen eine große Rolle spielen. Deshalb sollte durch Grundlagenforschung adressiert werden, welchen Nutzen eine **kollektive Trajektorienkoordination** erzielen und welche Einschränkungen sich daraus für spontane menschliche Eingriffe ergeben würden.

3.8 Infrastruktur

Automatisiertes Fahren wird heute im Wesentlichen als autarke Funktion von Fahrzeugen in gegebener Umgebung gesehen und entwickelt, da eine umfangreiche Infrastrukturerweiterung mit dedizierten Fahrstreifen anders als z.B. in China in der westlichen Welt als nicht realistisch umsetzbar eingestuft wird. Zudem ist eine Fahrzeug- zu Infrastrukturkommunikation unabhängig vom verwendeten Medium nie 100% sicher realisierbar, da sie immer gestört oder auch manipuliert werden kann. Hierdurch werden sich sicherheitsrelevante Funktionen nie alleine auf diese Informationen stützen können. Auf der anderen Seite wird eine kommunikationsbasierte Infrastruktur immer unterstützend hilfreich sein, beispielsweise als re-

dundante Quelle zur Erfassung des aktuellen Status einer Lichtsignalanlage, die fahrzeugseitig nur durch Kamerabildklassifikation erfasst werden kann.

Kurzfristig gilt es, die Möglichkeiten des neuen **5G Kommunikationsstandards** zu untersuchen. Hier sind die genauen Möglichkeiten des 5G Standards verbunden mit lokalen **Mobile-Edge-Computern** (Mec-Servern) noch nicht umfassend evaluiert. 5G soll Übertragungsmöglichkeiten mit Latenz im Millisekunden-Bereich ermöglichen. 5G soll zudem die Kommunikation sehr unterschiedlicher Datentypen und Mengen ermöglichen, beispielsweise von Daten sehr geringen Umfangs zur Parkplatzbelegung, aber auch von sehr hohen Datenvolumina, wie sie bei Umgebungsinformationen von Infrastruktur und anderen Fahrzeugen auftreten können.

Mit den Anbietern der konventionellen baulichen Infrastruktur muss gemeinsam entwickelt werden, welche **Mindeststandards für die Infrastruktur** (Fahrbahnoberfläche, Markierungen, Schilder, ...) diese zukünftig garantieren müssen und können. Weiterhin ist zu klären, welche Infrastrukturanforderung für den Aufstieg bzw. Ausstieg benötigt wird, um dedizierte Haltestellen hinreichend sicher zu gestalten.

Auch **mittelfristig** stellen sich bzgl. der Infrastruktur zahlreiche Fragen. Dabei spielen auch Standards zur Kommunikation eine große Rolle, die gut begründet auf Basis von Forschungsergebnissen vorangetrieben werden sollten, so dass Deutschland zu einem relevanten Player in diesem Bereich wird.

- Sind die heutigen **Gestaltungsregeln für den Straßenverkehrsraum** für automatisierte und vernetzte Fahrzeuge geeignet und ausreichend oder sind Änderungen und Ergänzung z.B. im Hinblick auf intermodale Knotenpunkte oder die Bereitstellung von infrastrukturbasierten Sensorinformationen sinnvoll?
- Wie können **Fußgänger und Zweiradfahrer** in die Kommunikation und Vernetzung einbezogen werden, beispielsweise über Smartphones?
- Wie kann die zu übertragende Datenmenge durch **lokale Vorverarbeitung** systematisch reduziert werden?
- Wie kann die **Fahrzeuglokalisierung** durch die Infrastruktur unterstützt werden, z.B. durch 5G Netzwerke mit exakt bekannten Basisstationen?
- Wie müssen Architekturen und Technikkonzepte für **verlässliche** (engl. dependable) **Netzwerke** und Netzwerkdienste für V2X gestaltet werden, sodass damit auch sicherheitskritische Funktionalitäten besser unterstützt werden? Welche Garantien muss die Vernetzung der nächsten Generation bereitstellen, damit die Potentiale gehoben werden können?

Langfristig sollten folgende Fragen durch Grundlagenforschung adressiert werden:

- Wie sollte ein urbaner Lebensraum der Zukunft gestaltet werden?
- Wie sieht ein Gesamtkonzept aus Infrastruktur und automatisierten Fahrzeugen aus, das den ländlichen Raum erschließt und damit die Urbanisierung umkehren könnte?

4 WOMIT? – zu erforschende Technologien und Methoden für AVF

4.1 Methoden zur Wirkungsanalyse

Die Wirkungsanalyse adressiert die Frage, welchen Einfluss bzw. Wirkung die Einführung einer automatisierten Fahrfunktion oder anderer Maßnahmen auf Zielgrößen wie z.B. die Entwicklung der Verkehrssicherheit, Verkehrseffizienz, Energieeffizienz oder die Emission von Schadstoffen oder Lärm haben wird. Besondere Beachtung muss die Erforschung der Wirkung von automatisierten Mobilitätsoptionen im Personenverkehr und Transportoptionen im Güterverkehr auf die Verkehrsnachfrage finden, die sich in Veränderungen von Verkehrsmengen und Verkehrsarten manifestieren. Methoden zur Bewertung der Wirkung – insbesondere modellbasiert – sind grundsätzlich zwar vorhanden, jedoch ohne explizite Berücksichtigung des Automatisierungs-Falles. Dies ist aber Voraussetzung zur Nutzung dieser Methoden für die vorausschauende Abschätzung von Wirkungen. Dies ist auch notwendig für Politik und Verwaltung, um belastbare Rahmenbedingungen schaffen zu können.

Kurzfristig

- Welche Auswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens sind im Hinblick auf die **Verkehrsnachfrage** zu erwarten? Welche Folgewirkungen auf **Raumstrukturen und Umwelt** lassen sich daraus ableiten? Welche **wirtschaftlichen Implikationen** sind damit verbunden?
- Wie können die **Wirkungen** des automatisierten und vernetzten Fahrens auf Verkehrseffizienz und Verkehrssicherheit bestimmt werden?
- Wie lassen sich **Unfälle** mit automatisierten Fahrzeugen systematisch erheben? Welches Potential bieten die Daten der zahlreichen Sensoren, wie ist der Datenschutz zu handhaben?

Mittelfristig

- Wie lässt sich die **mittelfristige Wirkung** des AVF auch auf den bislang ungebrochenen Trend der Urbanisierung bewerten? Mit autonomen Shuttles in Verbindung mit der Digitalisierung könnte z.B. der ländliche Raum wieder besser erschlossen werden.
- Wie lässt sich die Wechselwirkung mit der sich etablierenden „sharing economy“, oder der Plattform-Ökonomien bewerten? Wie lassen sich Änderungen im Mobilitätsverhalten effizient und valide messen?
- Wie lassen sich die **ökologischen Auswirkungen** abschätzen?

Langfristig

- Wie kann die Entwicklung von AVF, aber auch das Verhalten aller Verkehrsteilnehmer von dem Wissen aus **relevanten Szenarien** möglichst automatisiert profitieren?
- Wie können **langfristige Auswirkungen** – intendierte wie nicht gewollte – antizipiert und quantitativ abgeschätzt werden?

4.2 Vorgehensweise zur Implementierung

Voraussetzung für die Implementierung eines neuen Mobilitätsangebots ist dessen Nutzen und die zu erwartende Akzeptanz. Die eigentliche Implementierung erfordert das Verstehen der notwendigen Rahmenbedingungen und darauf aufbauend effiziente Vorgehensweisen und Prozesse.

Kurzfristig

- Wie sind die Rahmenbedingungen zu gestalten, damit AVF sinnvoll eingesetzt und möglich wird?

Mittelfristig

- Wie kann die erfolgreiche lokale Implementierung auf andere Länder effizient übertragen werden?

- Wie können daten- und ggf. kommunikationsgestützte Prozesse gestaltet werden, welche im Falle eines Unfalls eine effiziente und valide **Klärung der Schuldfrage** unterstützen?

Langfristig

- Wie kann die Umsetzung effizient beobachtet und bewertet werden?

4.3 Nutzerbezogene Methoden

In der Ergonomie wird heute vielfach die Interaktion der drei Elemente Fahrer, Fahrzeug und Umfeld genutzt, um die Abläufe, Faktoren und Handlungsbedarfe zur Steigerung von Komfort und Sicherheit zu beschreiben. Auch auf dieser Ebene spielen Mobilitätsdienste und damit **Mobilitätsanbieter** eine zunehmende Rolle, mit denen der Nutzer direkt interagiert (Bild 3).

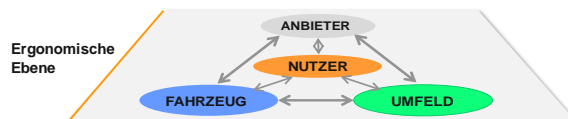


Bild 3: Struktur der ergonomischen Ebene

Einige Handlungsbedarfe wurden bereits in Kapitel 3 aufgezeigt, weitere methodische Aspekte betreffen:

Kurzfristig

- Wie können unterschiedliche Nutzergruppen in die **Konzeptgestaltung** einbezogen werden?
- Wie kann die **Güte** hinsichtlich der Übergabe der Fahraufgabe vom automatisierten System an den Fahrer beschrieben werden und welche **Gestaltungskriterien** lassen sich daraus ableiten?
- Wie lassen sich **Kommunikationskonzepte** zur Schaffung von Transparenz und in der Folge von Akzeptanz gestalten?
- Durch Nutzung welcher Methoden kann die Akzeptanz von Nutzern und Verkehrsteilnehmern belastbar prognostiziert und in Bezug zueinander gesetzt werden?

Mittelfristig

- Welche neuen Methoden ermöglichen eine effiziente Nutzerbegleitforschung?
- Wie lassen sich **Interaktionsprinzipien** und **Gestaltungskriterien** für Leitwarten ableiten und validieren?

Langfristig

- Wie könnten potentielle Verhaltensänderungen der Endnutzer hinsichtlich Fahrzeugnutzung und Mobilität prognostiziert werden?

4.4 Domänenübergreifende Architekturen

Heute wird zwischen der **Funktionalen Architektur** und deren Umsetzung in einer **Software-Architektur** unterschieden, die letztendlich auf eine **Hardwarearchitektur** in Form von Steuergeräten und deren Vernetzung abgebildet werden muss. Die Kommunikationsmöglichkeiten, Forderung an Fail-Safe-Verhalten, aber auch die umfassendere Einbeziehung von Backend-Informationen werden hier eine höhere Flexibilität und ggf. auch Rekonfigurierbarkeit von Funktionen auf der Hardware während der Laufzeit erfordern. Eine **Update-Fähigkeit** ist für viele Funktionen des AVF unbedingt erforderlich. Für diese Aufgabenstellung sind bisher keine universellen Architekturmethoden und Ansätze vorhanden. Zudem gilt es, Architekturen über die Systemgrenze Fahrzeug hinaus zu erforschen und gestalten (z.B. Leitwarte, Cloud, Backend).

Kurzfristig gilt es...

- einen **Architekturansatz** zu entwickeln, der einen modularen Aufbau von Teilfunktionen erlaubt, die dann auch von unterschiedlichen Anbietern Plug-and-play kombiniert werden können, ohne dass das Gesamtsystem bei jeder Änderung neu parametrisiert werden muss.

- **funktionsfreie Softwarearchitekturen** ergänzend zu funktionalen Architekturen zu erarbeiten, die sich hinsichtlich der funktionalen Abbildung frei konfigurieren lassen und auf unterschiedlicher Hardware lauffähig sind (Dienste-orientierte Softwarearchitekturen). Dies umfasst auch die Bewertung und Diagnose von softwarebasierten Diensten.
- **Hardwarearchitekturen** zu erforschen, die höchste Leistungsfähigkeit hinsichtlich Datenverarbeitung und Kommunikation mit minimaler elektrischer Leistungsaufnahme verbinden.
- Prinzipien und Verfahren für eine **sichere Aktualisierung** und Erweiterung von Softwarekomponenten und Funktionen innerhalb der Nutzungszeit zu erarbeiten.

Mittelfristig besteht weiterhin die Notwendigkeit, an der Repräsentation und **Architektur des Umgebungsmodells** und der weiteren Verarbeitungsschichten zu forschen. Es existiert noch kein „Goldstandard“ und keine Ansätze zur Validierung von Architekturen.

Es kann nicht zielführend sein, immer mehr und immer detailliertere Informationen aus den Sensoren zu generieren und diese vollständig der Situationsrepräsentation und dem Situationsverstehen zur Verfügung zu stellen. Diese Daten sollten kontextabhängig und manöverabhängig zur Verfügung gestellt oder auch generiert werden. Notwendig ist hierzu die Erforschung von Ansätzen zur aufgabenorientierten Umgebungsverfassung mit Ressource-Scheduling. Das Konzept der **Selbstüberwachung** bzw. internen Fähigkeitenbewertung von Funktionsmodulen sollte weiter erforscht werden („Self-Awareness“). Hierzu existieren nur erste Ansätze, die z.B. im Projekt UNICARagil erforscht werden.

4.5 Entwicklungsmethoden

Die Entwicklung des automatisierten und vernetzten Fahrens stellt hohe methodische Anforderungen an die Konzeption, Umsetzung und Aktualisierung komplexer Systeme aus Software- und Hardwarekomponenten, die sich nicht auf das Fahrzeug als solches beschränken, sondern auch den Betrieb und damit das Backend umfassen.

Gleichzeitig wird der Wettbewerbsdruck weiter steigen, so dass das Nutzererlebnis eine noch stärkere Rolle als bisher spielt. Nachdem völlig neue Fahrzeug- und Mobilitätskonzepte zu entwickeln sind, ist die Methode des Design-Thinking nicht mehr ausreichend. Es sind neue Methoden und Prozesse erforderlich, die das simulierte Verhalten für den Experten und repräsentative Nutzer erlebbar machen.

Damit können Wirksamkeit, Akzeptanz und funktionale Sicherheit bereits während der Konzeption automatisierter und vernetzter Funktionen methodisch hinreichend berücksichtigt werden.

Kurzfristig sind Methoden zu definieren, welche ...

- die effiziente, **mehrskalige Simulation** des automatisierten und vernetzten Fahrzeugs im Verkehr inkl. aller relevanten Subsysteme ermöglichen;
- die Modellierung und Validierung der **menschlichen Fahrerleistung** in Form eines repräsentativen Kollektivs als Referenz für automatisierte Funktionen erlauben;
- die effiziente **Modellierung von Sensoren** aber auch **von Umfeld und Verkehr** unterstützen.

Mittelfristig müssen Methoden zur Verfügung stehen, welche ...

- die **Funktionale Sicherheit** von der Betrachtung des Fehlerverhaltens (ISO 26262) auf die eigentliche Funktion sowie auf die funktionale Grenzen analog zur IEC 61508 erweitern;
- das subjektive Erleben während des Entwicklungsprozesses z.B. durch Kombination von Simulation und **Virtual Reality (VR)**, **Augmented Reality (AR)** und/oder Fahrsimulatoren systematisch und effizient ermöglichen.

Langfristig sollte die methodische Erfahrung einfließen in ...

- einen **Code of Practice** zur Entwicklung und Absicherung von Automatisierten Fahrfunktionen,
- eine **x-dimensionale Umfeldmodellierung**, die neben der Geometrie und Farbe auch die Beleuchtung, Materialeigenschaften und zeitliches Verhalten umfasst.

4.6 Technologie-Bausteine

Die Leistungsfähigkeit der Funktionen wird ermöglicht durch die Leistungsfähigkeit der einzelnen Bausteine in Hardware und Software. Die maschinelle Wahrnehmung als „enabling technology“ des automatisierten Fahrens bestimmt in besonderem Maße die Anforderungen an die Hardware der Systeme zum automatisierten Fahren. Auf Basis der erfassten Szene wird die Situation interpretiert und angemessenes Verhalten generiert, um die eigenen Ziele umzusetzen.

Heutige Systeme zur maschinellen Wahrnehmung sind gesunden aufmerksamen menschlichen Fahrer*innen in vielerlei Hinsicht noch unterlegen.

Kurzfristig setzen **Wahrnehmungssysteme** daher auf hochgenaue Karten der Umgebung, die die Wahrnehmungs- und Interpretationsaufgaben erleichtern können, wenn sie verlässlich sind. Entsprechend bedeutend ist die Erforschung zur verlässlichen Lokalisierung in diesen Karten. Inkonsistenzen zwischen der bordautonomen Wahrnehmung und der Karte müssen zumindest verlässlich als solche erkannt werden. Um den Entwicklungs- und Pflegeaufwand für Karten zu begrenzen, sollten sie weltweit standardisiert werden. Forschungsinteresse besteht auch an Methoden des Crowd Mappings, die verlässliche Kartierung mit diversitärer Sensorik ermöglichen.

Da nicht in allen Domänen eine verlässliche Karte zur Verfügung stehen wird, bleibt die maschinelle Wahrnehmung ohne die Unterstützung von hochgenauen Karten ein wichtiges Forschungsgebiet. Die Weiterentwicklung von Sensortechnologien wird die Datenbasis für die maschinelle Wahrnehmung auch in Zukunft verbessern; neue Technologien werden durch Forschungs- und Entwicklungsfortschritte marktreif werden.

Ebenfalls kurzfristig relevant ist die Frage, welche Beiträge die Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation mittels 5G oder anderer Netze zur sicheren Automatisierung von Fahrfunktionen liefern kann.

Eine besondere Bedeutung wird der Erforschung der Wahrnehmung in Grenzfällen und des Risikos zukommen, das von nicht erkannten oder falsch interpretierten Situationen ausgeht.

Für die **Verhaltensentscheidung** müssen Verfahren erforscht und entwickelt werden, die auf Basis der maschinellen Wahrnehmung mit ihrer inhärenten Unsicherheit möglichst sichere und transparente Entscheidungen fällen. Dabei kommt der Abwägung verschiedener Werte wie Sicherheit aller beteiligten Verkehrsteilnehmer, ihrem Mobilitätswunsch, aber auch der Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems eine besondere Bedeutung zu.

Umgesetzt wird das Verhalten von **Aktoren**, an die erhöhte Anforderungen gestellt werden, wenn kein menschlicher Fahrer Defizite oder Fehler der Aktoren über eine mechanische oder hydraulische Verbindung kompensieren kann. Wegen des Kostenrahmens im Automobilbau werden Hardwareredundanzen, wie sie in der Luftfahrt eingesetzt werden, nur begrenzt zum Einsatz kommen. Daher besteht ein besonderes Interesse an funktionaler Redundanz, bei der Fehler auf einer Gesamtfahrzeugebene erkannt und durch andere Aktoren kompensiert werden (z.B. Fehler des Lenksystems durch Bremsengriffe an einzelnen Rädern).

In komplexer Umgebung werden Methoden zur systematischen Ableitung von Anforderungen an Bedeutung gewinnen.

Auch **mittelfristig** werden Fortschritte bei der Erforschung und Entwicklung von **Sensortechnologien** und Methoden zur maschinellen Wahrnehmung die Weiterentwicklung automatisierter Fahrfunktionen maßgeblich bestimmen. Diese Fortschritte werden robuste maschinelle Wahrnehmungssysteme auch ohne hochgenaue Karten ermöglichen.

Neue Aktorkonzepte haben das Potenzial, die Fahrzeugkonzepte erheblich zu verändern.

Langfristig

Viele Forschungsthemen, die bereits unter dem kurz- und mittelfristigen Forschungsbedarf genannt wurden, werfen Fragen auf, die nur von Fördergebern mit langem Atem adressiert werden können. Motivation für die Forschung werden Fragen der Kostenminimierung, der Energieeffizienz, der Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems oder der Verkehrssicherheit sein.

Bereits kurzfristig bestehen erhöhte Anforderungen an die Diagnose innerhalb der Sensoren, der maschinellen Wahrnehmung, der Aktoren, der Steuergeräte und der Bussysteme. Langfristig könnten neue Konzepte wie **Self-Awareness** die heutige Diagnose revolutionieren und erheblich zur Sicherheit automatisierter Fahrzeuge beitragen. Self-Awareness ist eine wichtige Voraussetzung für die Resilienz zukünftiger automatisierter Fahrzeuge, die ihre Ressourcen flexibel an die aktuelle Umgebung und ihre eigene Leistungsfähigkeit anpassen.

Neue Technologien werden neue Ansätze ermöglichen, die heute noch nicht im Forschungsfokus sind (z.B. **Quantencomputer**).

4.7 Künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenz mit all den verschiedenen Formen des maschinellen Lernens hat für die Entwicklung des automatisierten Fahrens eine Schlüsselbedeutung erreicht. Trotz aller Erfolge verbleiben aber noch viele, zum Teil sehr große Lücken, um diese mächtige Algorithmen-Familie für serientaugliche sicherheitskritische Algorithmen zu qualifizieren.

K u r z f r i s t i g liegt der Schwerpunkt auf der Bereitstellung **qualifizierter Trainingsdaten** in öffentlich zugänglichen **Datenbanken** und für die Absicherung geeigneter **Benchmarks**.

KI kann niemals besser werden, als es die Datensätze für Training, Evaluation und Test es hergeben. Für eine quantitative Ausdehnung der Datenbasis sind effiziente Labeling-Werkzeuge und datenschutzgerechte Erhebungsmethoden erforderlich. Für die qualitative Verbesserung sind sowohl Vorgehensweisen als auch Kriterien zu erforschen, die anerkannte Sicherheitsbewertungen ermöglichen. Bei den Entwicklungsdatensätzen sollte schon im Vorfeld die Eignung für die späteren Trainingsaufgaben gezeigt werden (Validierung als Trainingsdatensatz für die Aufgabe XY). Für die **Sicherheitsbewertung von KI-Algorithmen** sind Benchmarks erforderlich, bspw. durch die Identifikation von Performanzindikatoren, die unbedingt für die Sicherheit einzuhalten sind. Begleitend dazu ist ein **Prozessmodell** zu entwickeln, in dem die KI-Entwicklung eingebettet werden kann, um die Qualifizierung der KI-Methoden und Daten schon früh über einen möglichst standardisierten Prozess sicherzustellen.

Mittelfristig

Noch lange werden die Datensätze dominieren, die aus realen Fahrten entstanden sind. Diese sind zum einen nur mit großem Aufwand zu erheben und zum anderen nur mit Mühe zu labeln. Daher muss das mittelfristige Ziel sein, diese durch synthetische Trainingsdatensätze zu ergänzen und im Fernziel sogar zu ersetzen. Im Besonderen wird es darauf ankommen, **hochaufgelöste Umgebungsmodelle** zu erforschen, um daraus **virtuelle Sensor-Rohdaten** generieren zu können, die ihrerseits dann Eingang in die KI-Algorithmen finden. Eine maßgebliche Entlastung lässt sich durch **semi- und unüberwachte Lernverfahren** erreichen.

Kollektives Weiterlernen ermöglicht zum einen die Erweiterung des Trainingsdatensatzes nach Auslieferung und zum anderen die Adaption (an Raum und Zeit) der Algorithmen durch Erfahrungsrückkopplung. Für solche **Konzepte des verteilten Lernens** ist zu erforschen, wie dieses Wissen aggregiert werden kann, ohne dafür alle Daten transferieren zu müssen.

Neben der **Absicherung von KI-Verfahren** können **KI Verfahren auch zur Absicherung automatisierter Fahrfunktionen** Beiträge leisten.

L a n g f r i s t i g sind weitere KI-Ansätze zu erforschen, um zum einen Grenzen bekannter Ansätze zu sprengen oder zum anderen Ansätze, die sich heute noch für sicherheitsrelevante Einsätze verbieten, doch einsatzfähig zu machen.

Selbstlernende Algorithmen gelten zurzeit als nicht zulassungsfähig, da sie nicht deterministisch sind. Damit wird aber ein aussichtsreicher Zweig des maschinellen Lernens ausgesperrt, der gerade für heterogene und dynamische Umgebungen hohes Potenzial verspricht. Daher sollte die Forschung an selbstlernenden Algorithmen sich auf die Überwindung dieses Hindernisses konzentrieren. Verlässliche Risikokriterien sollten die „Belohnungen“ für die Rückkopplung zum Selbstlernen liefern und die Netzstrukturen sollten auf Robustheit ausgelegt sein, sodass ein unsicheres Abgleiten des Lernens ausgeschlossen wer-

den kann. **KI Verfahren der nächsten Generation** könnten befähigt sein, Regeleinhaltenen zuzusichern und Erklärungen zu getroffenen Entscheidungen abzugeben.

4.8 Absicherung & Risikomanagement

Obwohl mit dem Projekt PEGASUS ein erfolgreicher Einstieg in die Absicherung von automatisiertem Fahren und deren Validierung gelungen ist, ist noch ein weiter Weg zu gehen, bis ein Stand erreicht ist, der mit der Absicherung heutiger technischer Produkte vergleichbar ist. Dabei lassen sich zwei Schwerpunkte erkennen: Risikometriken und die Methodenentwicklung für die Absicherung.

Risikometriken

Kurzfristig

Die heutigen Betrachtungen der Risiken des Straßenverkehrs basieren auf einer sehr makroskopischen Skala, bspw. Zahl der Unfälle mit Todesfolge pro Milliarden Kilometer. Solche Maße können erst nach der Markteinführung sinnvoll erhoben werden. Für eine Freigabe müssen andere **Maße zur Risiko-Prognose** herangezogen werden, die sich zwar auch statistisch bewähren müssen, sich aber schon mit einer deutlich geringeren Testerfahrung ermitteln lassen. Dabei ist auch die Effektivität der Absicherungsmethoden zu bewerten, also welche Aussagekraft sie für den Sicherheitsnachweis leisten können. Als Grundlage auch für mittel- und langfristige Forschung werden Datenerhebungen (sei es aus dem Fahrzeug heraus, über Infrastruktur oder Drohnenbeobachtung) erforderlich, damit Aussagen zur Repräsentanz von Szenarien abgeleitet werden und die Daten als essenzielle Basis für die Metrikforschung zur Verfügung gestellt werden können.

Mittelfristig ist für die Entwicklung des automatisierten Fahrens ein **Safety-by-Design**-Ansatz besonders anzustreben, sodass Sicherheitsziele auf funktionale Einheiten heruntergebrochen werden können. Im besonderen Fokus stehen die Verhaltensentscheidungen und Manöverplanung, da sich in diesen unmittelbar die Unfallgefahr, aber auch die Fähigkeit der Unfallvermeidung abbilden. Daher wird eine mittel- bis langfristige Forschung benötigt, um die **Risiken** des automatisierten Fahrens auf der **mikroskopischen Skala** zu beschreiben, zu prognostizieren und per Safety-by-Design in die Entwicklung des automatisierten Fahrens zu minimieren.

Auch ist damit für eine längere Frist denkbar, im Betrieb weiterlernenden Ansätze (bspw. Reinforcement Learning) sicher zu entwickeln und zu qualifizieren (s. KI).

Methodenentwicklung für die Absicherung:

Die Grundzüge des szenarienbasierten Testansatzes sind zwar durch PEGASUS beschrieben, aber nur für Autobahnscenarien. **Referenz-Szenarien** für die **Stadt** und **Landstraße** stehen somit noch auf der Agenda und sollten in die kurzfristige Forschungsplanung aufgenommen werden. Weiter steht noch der Nachweis aus, ob die PEGASUS-Methodik effizient umgesetzt werden kann und ob diese Methodik für eine Freigabe ausreicht. Für die Effizienzverbesserung stehen die virtuellen Tests im Vordergrund. Dazu sind kurzfristig **Validationsmethoden zur Qualifizierung der Modelle** zu entwickeln und mittel- bis langfristig Modellierungstechniken, die die Perzeptionskomponenten (Sensoren und Fusion) und die Umwelt passend zu diesen Komponenten abbildet. Langfristig sind **valide synthetische HD-Welten** mit hochauflösende 3D-Karten und ebenfalls hochauflösende Objektbeschreibungen erforderlich, mit denen Modelle synthetisiert werden können, zum anderen **effiziente Simulationstechniken** in Hard- und Software, sodass trotz der hohen Auflösung Echtzeitbedingungen eingehalten werden können.

Neben dem szenarienbasierten Testen sind weitere, **alternative oder ergänzende Methoden** zu erfordern. Dazu zählt das „**Silent Testing**“ (auch „Shadowing“ genannt), das im Feldeinsatz noch nicht freigegebene Funktionserweiterungen im simulierten Praxiseinsatz testet. Dabei ist zu erforschen, wie diese Methodik am besten umgesetzt werden kann (Effektivitäts- und Effizienzoptimierung). Ferner ist die Aussagekraft einer solchen Absicherung zu bewerten, um sie dann zur Werkzeugkiste der Sicherheitsvalidierung hinzufügen zu können.

4.9 Security

Eine anschauliche Definition beschreibt Security als die Sicherheit einer Sache vor Angriffen aus der Umgebung, während Safety die Sicherheit der Umgebung vor einer Sache adressiert. Angriffe können technischer und insbesondere informationstechnischer Natur sein, so dass jede Schnittstelle eines Systems ein potentielles Einfallstor darstellt. Davon abzugrenzen sind Angriffe auf die Organisation und ihre Prozesse, die letztlich auch zum Versagen des Systems führen können.

Kurzfristig sind ...

- **Methoden** zu entwickeln, die systematisch Security-Herausforderungen während der Produktentwicklung identifizieren und quantifizieren;
- Geeignete Mechanismen und Prozesse zu definieren, die **sichere Updates** der Funktionalität ermöglichen;
- **Angriffe systematisch zu erkennen** und geeignet darauf zu reagieren;

Mittelfristig

- Wie kann eine **sichere Datenbereitstellung** zur Bewertung und Optimierung von AVF außerhalb des Fahrzeugs (Backend, Cloud) erfolgen?
- Konzepte zur **inhärente Begrenzung** der Auswirkungen von Attacken;

Langfristig

- sind neue **kryptografische Verfahren** zu erforschen, die den Aufwand zu deren unberechtigten Entschlüsselung derart maximieren, dass dies technisch und wirtschaftlich nahezu unmöglich wird.

5 WIE? – etablierte und innovative Forschungsformate

In den vergangenen Jahrzehnten haben sich die in Tabelle 3 gezeigten Forschungsformate etabliert. Alle aufgeführten Formate haben ihre Berechtigung und wurden regelmäßig aktualisiert und optimiert.

Dennoch gibt es Handlungsbedarf, der einerseits durch die disziplin- und industrieübergreifende Komplexität des automatisierten und vernetzten Fahrens verursacht wird, andererseits durch einen enormen Zeitdruck und Wettbewerb, der durch große Unternehmen aus der IT, aber auch finanzstarken und agilen Start-ups befeuert wird. Eine weitere Herausforderung resultiert aus der Finanzierung der Forschung an Universitäten: im Gegensatz zu Bundesforschungseinrichtungen sind nicht die Vollkosten förderfähig, sondern nur die direkten Personalkosten zzgl. eines relativ geringen Overheads, der zudem zumindest zum Teil durch die Universitätsverwaltung einbehalten wird. Das führt dazu, dass sich universitäre Forschungsstellen nur dann an einem öffentlich geförderten Projekt beteiligen können, wenn die Differenz zwischen realem Overhead und Projektpauschale durch andere Mittel gedeckt werden kann.

Daraus resultieren die folgenden Fragen:

- Wie bzw. **in welchen Formaten** kann der Zeitraum zwischen Projektskizze und Zuwendung drastisch verkürzt werden? Inwieweit können prozessorale Anleihen bei „Pitches“ von Start-ups genommen werden?
- Wie kann die **domänenübergreifende Förderung** (Aviation – Automotive – Robotik) ermöglicht bzw. erleichtert werden?
- Wie kann die **interdisziplinäre Forschung** noch stärker gefördert werden?
- Wie kann eine **Kontinuität** der Forschung von Grundlagenforschung bis zur marktnahen Forschung über einen Zeitraum von 10 Jahren gewährleistet werden?
- Wie kann das **Erzielen verwertbarer Ergebnisse** und deren Nutzung begünstigt werden?
- Wie kann die **Finanzierung der Forschung** an Universitäten zu Vollkosten erreicht werden?
- Welche Maßnahmen können Forschungsförderer ergreifen, um allen Akteuren den Überblick über den Stand von Forschung und Wissenschaft zu erleichtern?

Der **Scientist’s Pitch Grant** zielt auf die personenbezogene Förderung ausgewiesener Forscher analog zum ERC-Grant der EU und ermöglicht die Finanzierung eines Forschungsteams für eine definierte Zeit zu Vollkosten.

Treuhandprojektmittel werden ähnlich wie die Grundfinanzierung einer Bundesforschungseinrichtung an eine transparente Organisation vergeben, welche diese Mittel in einem selbstdefinierten Prozess für Forschung in einem beantragten Themenfeld verwenden bzw. vergeben kann.

Als Weiterentwicklung zum Konzept des DFKI wäre es auch Sicht von Uni-DAS e.V. sinnvoll, einen **„Exzellenzverbund für Automatisiertes Fahren“** (EVAF) zu schaffen, der relevante Wissenschaftler von exzellenten Universitäten vereint und gleichermaßen eine agile wie auch langfristig ausgerichtete und finanzierte Forschung auf Grundlage einer vereinbarten Roadmap ermöglicht.

Sukzessive Projekte zielen auf eine stetige, langfristig angelegte Forschung zu priorisierten Themenfeldern, beginnend mit einer DFG-geförderten ersten Phase, an die unmittelbar eine zweite Phase der Förderung mit mittelfristigem Zeithorizont angeschlossen werden kann. In Abhängigkeit definierter Verwertungskriterien kann eine dritte Phase der Förderung in einem kompatiblen Förderformat angeschlossen werden, so dass Forschung systematisch in Innovation überführt werden kann.

Als transdisziplinäres Element einer systemischen Innovationspolitik können **Reallabore** eine Kooperationsform von technischer Entwicklung, gesellschaftlicher Einbettung und übergreifenden Innovations- und Transformationsprozessen darstellen.

6 Autoren

Prof. Dr. Klaus Bengler
Lehrstuhl für Ergonomie, TU München.

Prof. Dr. Klaus Dietmayer
Institut für Regelungstechnik, Universität Ulm.

Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein,
Institut für Kraftfahrzeuge (ika), RWTH Aachen University, Aachen.

Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer,
Institut für Regelungstechnik,
Technische Universität Braunschweig.

Prof. Dr.-Ing. Christoph Stiller,
Institut für Mess- und Regelungstechnik, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.

Prof. Dr. rer. nat Hermann Winner,
Fachgebiet Fahrzeugtechnik, TU Darmstadt.

Weitere Autoren:

Prof. Dr. Babara Lenz,
Institut für Verkehrsforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Prof. Dr. Armin Grunwald,
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), KIT.