

AUTOMATISIERT. VERNETZT. ELEKTRISCH.

Potenziale innovativer Mobilitätslösungen für Baden-Württemberg



prognos

Fraunhofer
IVI

TÜVRheinland[®]
Genau. Richtig.

TU
berlin



Baden-Württemberg



AUTOMATISIERT. VERNETZT. ELEKTRISCH.

Potenziale innovativer Mobilitätslösungen für Baden-Württemberg

e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie

Prognos AG

Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI

TÜV Rheinland Consulting GmbH

Technische Universität Berlin

INHALT

Vorwort	4	6	100
1 Ausgangslage und Zielsetzung	6		
2 Technologie des vernetzten und automatisierten Fahrens	8		
2.1 Regelkreis Fahrzeugführung	8		
2.2 Sensoren und Aktoren	9		
2.3 Umfeldinterpretation und Signalisierung	13		
2.4 Digitale Karten und Lokalisierung	15		
2.5 Kommunikation und Vernetzung	18		
2.6 Schnittstelle zwischen Fahrer und Fahrzeug	25		
2.7 Schrittweiser Ausbau von Automatisierung und Vernetzung	27		
3 Forschung für die Zukunft	34		
3.1 Ausgewählte Forschungsprojekte	34		
3.2 Testfahrten und Testgebiete	40		
3.3 Forschungsfahrzeuge	44		
4 Auswirkungen auf das Straßenverkehrssystem	50		
4.1 Verkehrseffizienz und -sicherheit	50		
4.2 Umwelt und Elektromobilität	53		
4.3 Neue Mobilitätslösungen	56		
4.4 Herausforderung Mischbetrieb	57		
4.5 Beispiele aus anderen Verkehrs- und Transportsystemen	61		
5 Ökonomische Potenziale – global und regional	63		
5.1 Produkte und Produktankündigungen	63		
5.2 Trends und Treiber	64		
5.3 Charakterisierung relevanter Marktsegmente	76		
5.4 Regionale Kompetenzen und Standortpositionierung	85		
6 Rechtliche Rahmenbedingungen	100		
6.1 Einführung	100		
6.2 Straßenverkehrsrechtliche Zulassung	101		
6.3 Zivilrechtliche Haftung, insbes. Produkthaftung	104		
6.4 Datenschutzrechtliche Anforderungen	111		
7 Zusammenfassung	114		
Abbildungsverzeichnis	118		
Abkürzungsverzeichnis	120		
Literaturverzeichnis	122		
Publikationen der e-mobil BW	132		

VORWORT

Die Mobilität der Zukunft ist automatisiert, vernetzt und elektrisch. Die kommenden Jahre werden von strikteren regulativen Vorgaben bei der Verringerung der CO₂-Emissionen von Fahrzeugen geprägt sein – und das bei gleichzeitig zunehmender Knappheit fossiler Brennstoffe. Wir brauchen Konzepte für eine nachhaltige Mobilität, in denen zunehmend automatisierte, vernetzte und elektrifizierte Fahrzeuge im Mittelpunkt stehen. Nur so können wir die ökologischen Herausforderungen meistern, ökonomisches Wachstum schaffen und dabei auch die sichere und bezahlbare Mobilität für Menschen aller Generationen sicherstellen.

Mit der Digitalisierung hat eine Revolution im Fahrzeugbau sowie Automotive- und Mobilitätssektor eingesetzt. Das betrifft einerseits die zunehmende Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), wie bei der Vernetzung innerhalb des Fahrzeugs, bei der Vernetzung von Fahrzeugen untereinander, bei automatisierten Fahrfunktionen oder bei rechnergestützten intermodalen Wegeketten. Andererseits verändern sich in etablierten und neuen Geschäftsmodellen die Kunden-Lieferanten-Schnittstellen, an denen besonders hohe Margenpotenziale bestehen.

Die Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg e-mobil BW hat Elektromobilität in ihrer Systemanalyse definiert. Danach können die Felder Mobilität, Erneuerbare Energien und IKT nicht getrennt voneinander betrachtet werden, sie sind eng miteinander verbunden. Für die zukünftige Mobilität zeichnen sich verschiedene Schnittstellen und Kategorien ab, so dass sowohl auf Fahrzeugebene, Infrastrukturseite und im Bereich der Verkehrssteuerung als auch in der Entwicklung und Fertigung die Digitalisierung immer mehr Einzug hält.

Baden-Württemberg hat durch seine traditionell gewachsenen Strukturen und seine leistungsfähige Unternehmenslandschaft – unterstützt durch exzellente Forschungs- und Hochschuleinrichtungen – die besten Voraussetzungen, auch zukünftig eine weltweit führende Rolle einzunehmen. Neben den großen Automobilherstellern, Zulieferern und führenden IT-Unternehmen sind es im Land auch die kleinen und mittleren Unternehmen, die einen maßgeb-

lichen Beitrag zur Wertschöpfung der Automobilindustrie leisten. Ihre innovativen Produkte, Lösungen und Dienstleistungen finden weltweiten Absatz und Anerkennung. Neben der Vernetzung der Branchen ist auch die aktive Einbindung dieser kleinen und mittleren Unternehmen in den Technologiewandel entscheidend für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit Baden-Württembergs. Bereits seit Jahren gibt es zahlreiche Aktivitäten und Clusterinitiativen im Land, die den Wissenstransfer zwischen Forschung und Industrie fördern und zur Entwicklung gemeinsamer, branchenübergreifender Lösungen beitragen. Dazu gehört auch der Cluster Elektromobilität Süd-West, der von der e-mobil BW gemanagt wird und dessen über 100 Partner den Technologiewandel hin zur Elektromobilität aktiv gestalten. Die dort entstandene AG intelligent move, die seit 2014 an den Themen automatisiertes und vernetztes Fahren arbeitet, treibt die Aktivitäten auf strategischer Ebene voran.

Die vorliegende Studie wurde von der e-mobil BW beauftragt, sie soll dieses zentrale Themenfeld in seinen verschiedenen Aspekten beleuchten und Entscheidern in Politik und Industrie wesentliche Handlungsfelder aufzeigen. Sie gibt einen umfassenden Überblick zum aktuellen Stand von Technologie, laufenden Forschungsaktivitäten, Auswirkungen auf das Straßenverkehrssystem und rechtlichen Rahmenbedingungen im Bereich automatisiertes und vernetztes Fahren. Die Herausforderungen sind groß, lassen Sie uns die Zukunft der Mobilität gemeinsam gestalten.



Dr. Nils Schmid MdL
Stellvertretender Ministerpräsident und Minister für Finanzen
und Wirtschaft des Landes Baden-Württemberg



Franz Loogen
Geschäftsführer e-mobil BW GmbH



AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

Digitalisierung, Fahrzeugvernetzung und automatisiertes Fahren sind derzeit ursächlich und prägend für einen bedeutenden Wandlungsprozess in der Fahrzeugindustrie weltweit. Umfassende und tiefgreifende Änderungen in den Wertschöpfungssystemen sind zu erwarten. Es stellt sich die Frage, durch wen und wie – als Produkt oder als Dienstleistung – Automobilität zukünftig erzeugt wird. Analog zur Entwicklung im Bereich der Elektromobilität zeigen sich Zutritte neuer Akteure z. B. der IKT-Branche und damit auch aus anderen als den bisher dominierenden Branchen des Automobilbaus.

Die zunehmende Durchdringung des Fahrzeugs mit Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) spiegelt sich schon heute in einer Vielzahl von im Fahrzeug verfügbaren informierenden Mehrwertdiensten wider. Diese basieren auf Daten aus dem Fahrzeug, aber in einem wachsenden Maße auch auf der Vernetzung des Fahrzeugs mit der Umgebung.

Parallel zu dieser Entwicklung zeigt sich eine hohe Dynamik hinsichtlich einer immer stärkeren Automatisierung von Fahrfunktionen.

Mit der vorliegenden Studie werden im Wesentlichen fünf Ziele angestrebt:

- Die der Fahrzeugvernetzung und -automatisierung zugrunde liegenden technologischen Entwicklungen werden beschrieben und zukünftige mögliche Weiterentwicklungen werden aufgezeigt.
- Der Einfluss des vernetzten und automatisierten Fahrens auf das Verkehrssystem wird dargestellt. Wichtige Zusammenhänge – auch in Bezug auf die Elektromobilität – werden beschrieben.
- Die wirtschaftliche Bedeutung der Entwicklungen in Bezug auf das vernetzte und automatisierte Fahren wird abgeschätzt und gesellschaftliche Trends aufgezeigt.
- Implikationen für die Wertschöpfungskette am Standort Baden-Württemberg werden abgeleitet.
- Die relevanten juristischen Fragestellungen werden zusammengetragen. Eine Bewertung findet anhand des geltenden Rechtsrahmens statt.

Diese Studie setzt die Studienreihe der e-mobil BW GmbH fort. Mit den Publikationen „Strukturstudie BW[®] mobil 2015“ und „Systemanalyse BW[®] mobil 2013“ wurde ein umfassender Überblick über den Status quo des Gesamtsystems Elektromobilität sowie über die themenrelevanten Aktivitäten innerhalb des Bundeslandes gegeben. Potenziale und Risiken für den Industrie- und Wissenschaftsstandort Baden-Württemberg und die dort beheimateten Akteure wurden abgeleitet.

Diese Betrachtungen werden nun mit vorliegendem Dokument um die Perspektiven und Potenziale, die sich aus der Vernetzung von Fahrzeugen sowie der Automatisierung von Fahrfunktionen ergeben, ergänzt. Eine inhaltliche Anschlussfähigkeit zeigt sich u. a. darin, dass sich viele Akteure in Baden-Württemberg, die diese beiden Themen vorantreiben, auch im Bereich der Elektromobilität engagieren.

Für diese Studie wurden zahlreiche Studien ausgewertet sowie Ergebnisse abgeschlossener bzw. Ziele aktuell laufender Forschungsprojekte analysiert und interpretiert. Validiert und angereichert um neue Erkenntnisse wurden die derart gewonnenen Ergebnisse durch Interviews. Es wurden 26 Expertengespräche mit Akteuren aus Wirtschaft und Wissenschaft geführt, die zu einem überwiegenden Teil in Baden-Württemberg beheimatet sind.

Die Dokumentation und Gliederung der Befunde in diesem Bericht orientieren sich an der Abfolge der zuvor definierten Ziele dieser Studie.

In Kapitel 2 werden die für die Realisierung von vernetztem sowie automatisiertem Fahren notwendigen Technologien hergeleitet, der gegenwärtige Entwicklungsstand beschrieben und zukünftige Optionen dargestellt.

Kapitel 3 stellt wesentliche Forschungsaktivitäten vor. Ergebnisse öffentlich geförderter und privater FuE-Aktivitäten v. a. im Bereich des automatisierten Fahrens zeigen sich zumeist in Form von Prototypen und Testfahrten.

In Kapitel 4 werden mit dem Fokus Straßenverkehr mögliche Auswirkungen des vernetzten und automatisierten Fahrens auf

das Verkehrssystem betrachtet. In diesem Zusammenhang spielen Themen wie Verkehrseffizienz und Verkehrssicherheit, aber auch grundlegend neue und nachhaltige Mobilitätslösungen eine Rolle. Querbezüge zur Elektromobilität werden aufgezeigt.

In Kapitel 5 wird aufgezeigt, welche Treiber und Trends die Nachfrage nach Anwendungen des vernetzten und automatisierten Fahrens bestimmen. Relevante Marktsegmente werden identifiziert und Abschätzungen zu den jeweiligen wirtschaftlichen Entwicklungspotenzialen vorgestellt. Für den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Baden-Württemberg wird aufgezeigt, welche Anknüpfungspunkte der regionalen Wertschöpfung heute schon und welche Potenziale zukünftig bestehen.

Zu welchem Grad der bestehende Rechtsrahmen das „Inverkehrbringen“ von Mobilitätsprodukten und -dienstleistungen des vernetzten und automatisierten Fahrens bereits heute ermöglicht, zeigen die Ausführungen in Kapitel 6. In diesem Zusammenhang werden auch die noch zu beantwortenden Fragen in den relevanten Rechtsgebieten aufgezeigt.

Zentrale Ergebnisse der einzelnen Kapitel werden als Kernergebnisse im Text hervorgehoben. Abschließend werden diese Ergebnisse in Kapitel 7 zusammengefasst.

Die Projektpartner haben diese Studie gemeinsam erarbeitet mit folgenden Schwerpunkten gemäß der jeweiligen Fachkompetenz:

- Das Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI sowie die TÜV Rheinland Consulting GmbH erarbeiteten die Kapitel 2, 3 und 4 und widmeten sich den Fragen zur Technologie und zum Verkehrssystem.
- Durch die Prognos AG wurden in Kapitel 5 die ökonomischen Perspektiven des vernetzten und automatisierten Fahrens aufgezeigt. Die Kompetenzen, die am Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Baden-Württemberg heute schon bestehen, wurden anschließend dargestellt.
- Die Zusammenstellung und Bewertung der relevanten juristischen Fragestellungen erfolgte in Kapitel 6 durch den

Lehrstuhl für Wirtschafts-, Unternehmens- und Technikrecht der Technischen Universität Berlin.

- Die Gesamtverantwortung für das Vorhaben liegt bei der Prognos AG.

Kapitel 2

TECHNOLOGIE DES VERNETZTEN UND AUTOMATISIERTEN FAHRENS

Anhand des Regelkreises der Fahrzeugführung lässt sich die Übertragung der Fahraufgabe vom Menschen auf die Maschine beschreiben (Abschnitt 2.1). Dazu sind technologische Komponenten erforderlich (Abschnitt 2.2 bis 2.5), die die Aufgaben des Fahrers als Sensor, Bewerter und Aktuator schrittweise übernehmen. Auf diesem Weg stellt die Ausgestaltung der Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug eine große Herausforderung dar (Abschnitt 2.6). Die Umsetzung erfolgt in Automatisierungsstufen, wobei eine zunehmende Verzahnung von Automatisierung und Vernetzung zu erwarten ist (Abschnitt 2.7). Mit zunehmender Automatisierung der Fahrzeugfunktionen wird der Mensch schrittweise durch Systemkomponenten ersetzt, teilweise durch Hardware, teilweise durch Software.

2.1 REGELKREIS FAHRZEUGFÜHRUNG

Fahrzeuge im Straßenverkehr werden heute durch den Menschen geführt. Die Längsführung erfolgt zumeist durch das

Bedienen von Pedalen (Gas und Bremse). Die Querführung wird maßgeblich über das Lenkrad bestimmt. Dabei verlässt sich der Mensch primär auf seine Sinnesorgane – hauptsächlich Augen und Ohren. Die Umwelt, z. B. Straßenzustand und Wetter, beeinflusst die Fahraufgabe von außen.

Diese Zusammenhänge lassen sich als Regelkreis der Fahrzeugführung darstellen. Sie sind in Abbildung 1 veranschaulicht.

Die Veränderung begann mit der Entwicklung erster Fahrerassistenzfunktionen. Einige Elemente des Regelkreises können bereits heute je nach Fahraufgabe und -situation vollständig ersetzt werden: Aktoren übernehmen die Längs- und Querführung, Sensoren sowie Daten aus der Kommunikation mit der Außenwelt ergänzen und unterstützen immer mehr die Wahrnehmung des Fahrers. Menschliche Fähigkeiten wie Sehen, Intuition und Bewegung werden zunehmend maschinell nachgebildet (siehe Tabelle 1).

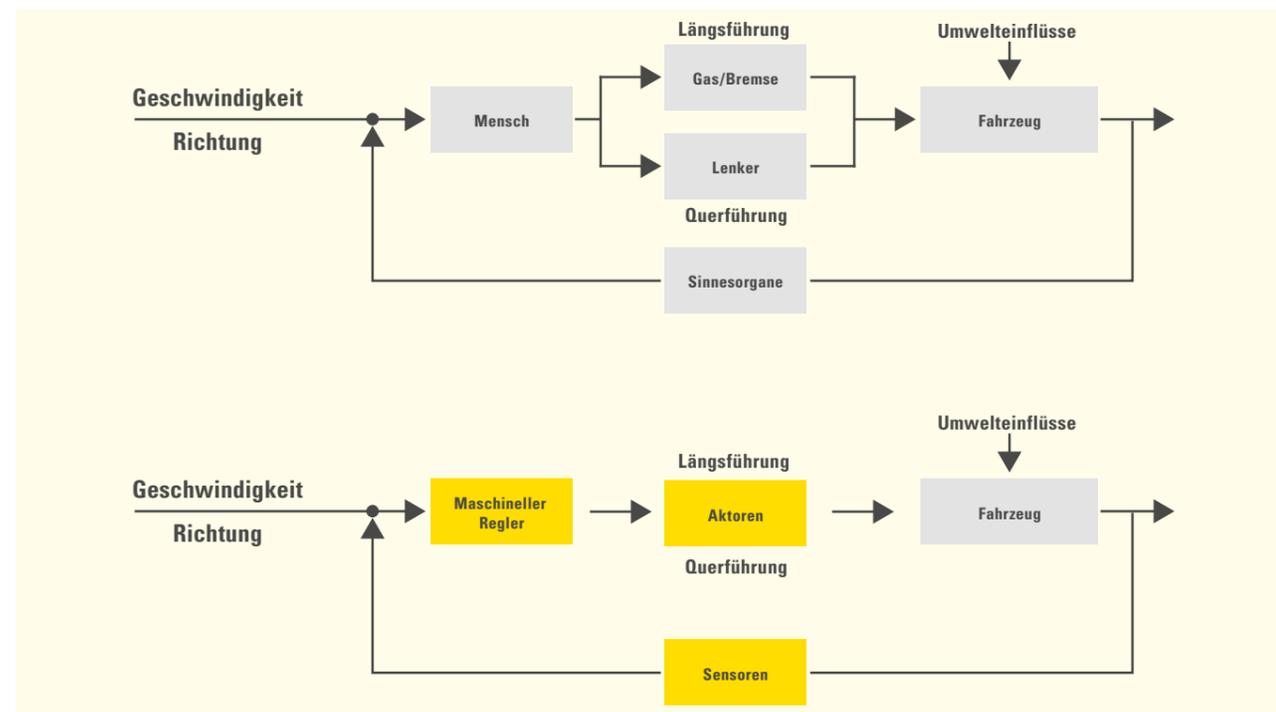


Abbildung 1: Regelkreis Fahrzeugführung mit und ohne Mensch. (Eigene Darstellung)

Fähigkeiten der Fahrer	Nachbildung im Fahrzeugsystem
Entscheidung Intuition Erfahrung	Algorithmen Maschinelles Lernen
Sehen Hören	Sensoren Car-to-X-Kommunikation
Gedächtnis	Digitale Karten Modelle
Bewegungen Reflexe	Aktorik Intelligente Steuerung

Tabelle 1: Nachbildung menschlicher Fähigkeiten und Affektlogiken durch Technik. (Eigene Darstellung)

Dazu ist eine Ausstattung der Fahrzeuge mit den technologischen Komponenten und einer entsprechenden Datenverarbeitung notwendig. Dies wird in den folgenden Abschnitten vertieft dargestellt.

2.2 SENSOREN UND AKTOREN

Umfeldsensoren

Zur Wahrnehmung der Umwelt erfolgt in Fahrzeugen vermehrt der Einbau von Sensoren. Je nach Systemlösung und Einsatzge-

biet werden einzelne Sensoren oder Kombinationen verwendet wie Abbildung 2 exemplarisch veranschaulicht.

Folgende Sensoren kommen häufig zum Einsatz:

- **Ultraschallsensoren** senden kurzweilige Impulse aus, die von Objekten reflektiert werden. Über die Auswertung der Signallaufzeit lässt sich die Entfernung zum Objekt ermitteln (Echolotprinzip).
- **Radarsensoren** senden elektromagnetische Wellen im Radiofrequenzbereich (Funkwellen) aus, die von Objekten reflektiert werden. Die reflektierten Wellen werden als Sekundärsignal empfangen und nach verschiedenen Kriterien ausgewertet.
- **Kamerasysteme** verwenden halbleiterbasierte Bildsensoren zur Wandlung von Licht in digitale Bildsignale. Grundsätzlich haben Kamerasysteme den Vorteil, dass sie große Kontraste verarbeiten können und den für den Menschen sichtbaren Wellenlängenbereich abdecken.
- **Laser** senden Lichtimpulse aus und werten die vom Objekt reflektierten Strahlen über das Lichtlaufzeitverfahren aus. Aufgrund des Einsatzgebietes der Laser wird auch oft von LIDAR-Systemen (Light Detection and Ranging Systems) gesprochen.

Tabelle 2 fasst typische Eigenschaften und Einsatzgebiete dieser Umfeldsensoren zusammen.

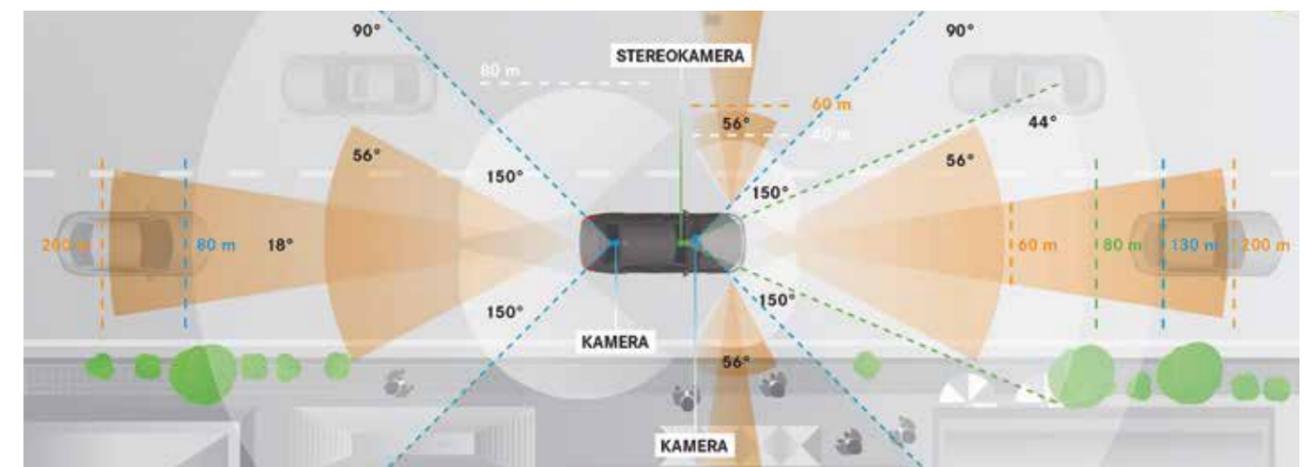


Abbildung 2: Umfeldsensoren. (Daimler Intelligent Drive, © media.daimler.com)

Kapitel 2

Sensor	Varianten	Eigenschaften	Einsatzgebiet	Vor- und Nachteile
Ultraschall		Reichweite von bis zu 5 m	Parkassistenten sowie vereinzelt für Toter-Winkel-Assistenten bzw. Spurwechselassistenten	+ Kostengünstig – Freies Sichtfeld notwendig; Oberflächenverschmutzung führt zu unvorhersehbaren Ausfällen; Erkennung von kleinen Objekten oder Objekten mit schrägen Oberflächen schwierig; Sensorwerte sind temperaturabhängig; geringe Reichweite
Radar	Fernbereichsradar	Frequenzband 76–77 GHz; typische Reichweite bis zu 250 m; Öffnungswinkel bis zu 30 Grad; Winkel kann durch Anpassung der Linsen-geometrie individuell erweitert werden – unter Einbuße von Reichweite	Für längsführende Assistenzsysteme (z. B. ACC oder Stauassistent)	+ Relativ robust gegenüber Wettereinflüssen; große Reichweite – Hohe Herstellungskosten; Sensoren des gleichen Typs können zu Störeinflüssen und zur Detektion von Phantomobjekten führen; System kann (noch) nicht zwischen einem relevanten Objekt (Fußgänger) und einem irrelevanten Objekt (kleiner Pappkarton) unterscheiden
	Mittelbereichsradar	Erste Varianten im lizenzfreien ISM-Band bei 24 GHz; nun auch Frequenzband 76–77 GHz; Öffnungswinkel zwischen 150 und 40 Grad; Reichweite zwischen 80 und 160 m	Oft als Ergänzung zu den Anwendungen der Fernbereichsradare (z. B. zu einem Auffahrassistenten); Verwendung auch für Parkassistenten durch Einbau auch im Heckbereich des Fahrzeugs	
	Nahbereichsradar	Erste Varianten im lizenzfreien ISM-Band bei 24 GHz; nun auch Frequenzband 76–77 GHz; breiter Abstrahlwinkel (~150 Grad), aber wesentliche geringere Reichweite, typischerweise 50 m		
Kamera	Mono-kamera	Reichweite je nach Einsatzzweck von bis zu 500 m (bei Lichtpunkterkennungen)	Im Allgemeinen Einparkhilfen und Schilderererkennung, darüber hinaus Verwendung für querassistierende Systeme (Spurverlassenswarner und Spurhalteassistenten) und unterstützend für längsführende Assistenten (z. B. Auffahrwarnsystem)	+ Kostengünstig, Objektzuordnung gut möglich, bei Stereokameras Objektzuordnung und Interpretation besser möglich als bei Monokameras – Ausreichende Helligkeit notwendig; ungeeignet zur Geschwindigkeitsermittlung; bei monoskopischer Entfernungsschätzung können zuweilen große Schätzfehler auftreten; Detektionsrate und Reichweite der Kamerasensorik sinkt bei schlechten Witterungsverhältnissen
	Stereo-kamera	Dreidimensionale Umgebungserfassung der Stereotechnik: zwei Kameras mit typischer Reichweite bis zu 60 m, dreidimensional hochauflösende Messwerte; Öffnungswinkel um 45 Grad	Längs- und Querverführung heutiger Automatisierungssysteme z. B. ACC, Stauassistent, Auffahrassistent sowie Spurverlassenswarner und Spurhalteassistenten	
Laser	LIDAR	Typische Reichweite automotiv verbaubarer LIDAR etwa 100 m	Wegen schlechter Wetterrobustheit weniger für längsführende Assistenzsysteme (z. B. ACC), dafür eher Radar (Long Range); LIDAR ist Alternative und/oder Redundanzlösung für Assistenzsysteme, die eher kurze Distanzmessung verwenden (z. B. Auffahrwarnsystem)	+ Hohe Auflösung, bei Rotationslasern zudem Rundumsicht möglich – Probleme bei Nebel und diffuser Lichtstreuung; Lichtstrahlbündelung kann dem entgegenwirken, führt dann evtl. jedoch zur totalen Reflexion; keine Bildererkennung
	Rotations-laser	Laserscanner mit rotierenden Spiegeln; 360 Grad Rundumsicht mit hoher Auflösung	Referenz für Umfeldsensoren mit einer Reichweite bis 100 m	

Tabelle 2: Übersicht zu Umfeldsensoren. (Eigene Darstellung)

Im Bereich der Umfeldsensorik ist bereits ein hoher technologischer Stand erreicht. Eine Vielzahl von Verbundforschungsprojekten, wie die in Abschnitt 3.1 vorgestellten Projekte interactIVe und AKTIV, haben hierzu durch Funktionsnachweise diverser technischer Komponenten erheblich beigetragen. Dennoch sind Verbesserungen von Eigenschaften wie Auflösung, Reichweite, Robustheit und Baugrößen erforderlich.

Beispielhaft sei dies an der optischen Erkennung von Fahrbahnmarkierungen sowie Verkehrszeichen dargestellt:

- Für die temporäre Verkehrsführung in Baustellen werden in Deutschland gelbe Fahrbahnmarkierungen eingesetzt. Die weißen Markierungen sind gleichwohl noch vorhanden, müssen jedoch vom Fahrzeug ignoriert werden.
- Durch Verschmutzung, Schnee, Abnutzung bzw. Ablösung können gültige Fahrbahnmarkierungen schwer erkennbar sein.
- Reflexionen von Nässe auf der Fahrbahnoberfläche, insbesondere in Vertiefungen von entfernten Fahrstreifen, ergeben ein ähnliches Abbild wie eine echte Fahrbahnmarkierung, die aber ignoriert werden muss (Phantommarkierung).
- Unzureichende Reflexionseigenschaften bei älteren bzw. verschmutzten Verkehrszeichen können zu falschen Detektionsergebnissen führen.

In diesen und weiteren Fällen ist die Zuverlässigkeit der Erkennung eingeschränkt. Sie lässt sich durch verbesserte Einzelsensoren nur bedingt erhöhen. Die Daten verschiedener Sensoren müssen kombiniert werden (Datenfusion). Dabei bringt eine intelligente Verteilung der Datenverarbeitung einen Fortschritt. Zum Beispiel kann eine Vorverarbeitung schon in der Sensorhardware erfolgen, so dass sich die zu übertragende Datenmenge verringert. Zudem muss die übergeordnete Steuereinheit weniger Rechenleistung zur Verfügung stellen.

»Jedes Sensorsystem für sich wird auch in Zukunft seine Schwächen haben. Diese werden sich aber durch eine intelligente Sensorfusion gut ausblenden lassen. [...] Um dies zuverlässig und unter der strengen Maßgabe der Funktionalität hinzubekommen, kann und muss die Forschung hier noch mehr leisten.«

Prof. Dr. Rolf Isermann,
Tagungsleiter der ATZ-Fachtagung „Fahrerassistenzsysteme – von der Assistenz zum automatisierten Fahren“¹

Über diese hardwarenahen Maßnahmen hinaus wird eine zusätzliche Interpretation der Daten erforderlich (siehe Abschnitt 2.3). Es wird erwartet, dass mit der Weiterentwicklung der Sensoren auch deren Kosten, die ein entscheidendes Merkmal für den Einsatz sind, weiter sinken.

»Im Bereich der Sensoren steht die Industrie vor einer Welle technischer Quantensprünge, die zu einer massiven Kostenreduktion führen können. Solid-state LIDARs zum Beispiel haben das Potenzial, Herstellereinstellungen für Umfeldsensoren um Größenordnungen zu reduzieren und den notwendigen Bauraum ebenfalls zu begrenzen.«

Dr. Christoph Grote, Senior Vice President Research,
Advanced Technologies and Innovation bei der BMW Group²

Aktoren zur Fahrzeugführung

Aktoren stellen das maschinelle Ausführungsglied bei der Automatisierung dar. Sie übernehmen die Querverführung (Lenken) bzw. Längsführung (Beschleunigen, Bremsen) und werden schon heute von verschiedenen Fahrerassistenzsystemen angesteuert. Hierzu gehören z. B. das elektronische Stabilitätsprogramm (ESC), die elektromechanische Lenkung (EPS) und X-by-Wire-Systeme, in denen die mechanische Steuerung durch elektrische Steuersignale ersetzt wird.

¹ Vgl. ATZ extra (2015).

² Vgl. VDA (2015), S. 307.

Kapitel 2

Das meist zur Grundausstattung von Fahrzeugen gehörende ESC wird zur Längs- und Queransteuerung benötigt. Durch das aktive Abbremsen einzelner Räder soll das Ausbrechen des Fahrzeugs verhindert werden. Es kann aber auch bei normalen Abbremsvorgängen sowie – durch einseitigen Bremseneinsatz – beim Lenken zum Einsatz kommen.

Dagegen dient das EPS nur der Quersteuerung und greift an der Zahnstange der Lenkung an. Normalerweise ist diese zur Unterstützung des Fahrers anstelle der Servolenkung installiert. An der Zahnstange wird der Unterstützungsbedarf gemessen und daran angepasst erfolgt eine Kraftaufschaltung durch den Elektromotor. Dieser kann aufgrund seiner Funktionsweise aber auch zur Automatisierung eingesetzt werden. Vorteilhaft ist, dass die mechanische Lenkung als Rückfallebene bestehen bleibt.

Im Bereich der Automatisierung ist das elektronische Gaspedal erwähnenswert. Es ersetzt das Seilzugsystem, mit dem normalerweise die Drosselklappe am Motor gestellt wird. Beim elektronischen Gaspedal ermitteln Sensoren dessen Stellwinkel. Dieser Wert wird zur elektronischen Ansteuerung der Drosselklappe und für die Einspritzung (Motormanagement) verwendet.

Wie beim elektronischen Gaspedal nutzen automatisierte Fahrzeuge zur Ansteuerung der Aktoren primär elektrische Signale. In nichtautomatisierten Fahrzeugen erfolgt die Längs- und Quersteuerung hingegen meist mechanisch bzw. hydraulisch. Wegen der notwendigen Übersteuerbarkeit und Redundanz werden voraussichtlich zunächst beide Steuersysteme (elektrisch und mechanisch/hydraulisch) im Fahrzeug verbleiben. Eine Durchsetzung der Fahrzeuge mit nur elektronischen X-by-Wire-Systemen ist in naher Zukunft nicht zu erwarten. Vielmehr werden in der Regel nur einzelne Teile der jeweiligen Regelaufgabe (Längs- bzw. Querführung) ersetzt. So könnte zum Beispiel bei der Längsführung nur das Gaspedal in elektronischer Ausgestaltung verfügbar sein, während die Bremse in althergebrachter Form verbaut ist, so dass das Fahrzeug immer noch durch Bremsen regelbar bleibt.

Einen Ansatz für die elektronische Steuerung verfolgt das baden-württembergische Unternehmen Paravan mit einem System, das für behindertengerechte Fahrzeugumbauten entwickelt wurde.

Es ist mehrfach redundant ausgelegt und hat deshalb eine Straßenzulassung (siehe hierzu auch die Infobox in Abschnitt 5.4).

Bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ist zu beachten, dass der Energieverbrauch von elektrischen Steuerungssystemen die Reichweite der Fahrzeuge reduziert. Es muss deshalb nach Lösungen gesucht werden, wie den Fahrer unterstützende Funktionen energieeffizient umgesetzt werden können. Dies ist zum Beispiel eine Aufgabe des Projektes e²-Lenk (siehe Infobox in Abschnitt 4.2).

Zukünftig liegt eine der größten Herausforderungen in der Verknüpfung von Aktoren mit lernfähiger Software. Zudem ist eine Optimierung in Bezug auf Ansteuerbarkeit, Robustheit, Ausführungsgeschwindigkeit, Redundanzfähigkeit und Zuverlässigkeit erforderlich.

Spezielle Aufmerksamkeit verdient dabei die funktionale Sicherheit (FuSi), geregelt in der Norm ISO 26262:2011 „Straßenfahrzeuge – Funktionale Sicherheit“ (Road Vehicles – Functional Safety), einem international gültigen Standard für elektrische und elektronische Systeme in Straßenfahrzeugen. Die Einhaltung dieser Norm stellt einen geeigneten Nachweis des funktional sicheren Betriebs eines Fahrzeugs dar. Es gilt sicherzustellen, dass von automatisiert fahrenden Fahrzeugen lediglich im Rahmen eines vertretbaren Restrisikos eine Gefährdung der Verkehrsteilnehmer ausgeht. Daraus ergeben sich wichtige Forschungsfragen. Diese wurden bisher für das automatisierte Fahren kaum oder nur für stark vereinfachte Bereiche untersucht.

Kernergebnis:

Insbesondere bei der Sensorik ist bereits ein hoher technologischer Stand erreicht. Mit der Weiterentwicklung sind Verbesserungen einzelner Eigenschaften zu erwarten. Eine Optimierung der hardwaretechnischen Sensortechnologie insbesondere im Zusammenspiel mit der nachgelagerten Datenverarbeitung und einer Zusammenführung mit anderen Sensordaten wird als zielgerecht angesehen. Jedoch ist in vielen Situationen eine zusätzliche Interpretation von Sensordaten erforderlich.

2.3 UMFELDINTERPRETATION UND SIGNALISIERUNG

Die Verarbeitung von Sensordaten ist eine Grundlage der automatisierten Fahrzeugsteuerung. Wesentliche Herausforderungen liegen – über die in Abschnitt 2.2 vorgestellte Datenfusion hinausgehend – in der Interpretation von Sensordaten. Beispielsweise können Umfeldsensoren Hindernisse wahrnehmen und den Abstand dazu erfassen. Die verfügbare Technik erlaubt es inzwischen, einzelne Objekte im Straßenraum zu erkennen, zu klassifizieren und zu interpretieren. Die Feststellung, um welche Objektarten es sich handelt (Baum oder Mensch, Papiertüte oder Betonblock), ist nur durch inhaltliche Bewertung, Interpretation und Verknüpfung von Informationen, d. h. durch intelligente Software möglich.

Wahrnehmung und Antizipation des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer

Die Wahrnehmung und Bewertung des Verhaltens anderer motorisierter und nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer sowie die Prognose ihres unmittelbar bevorstehenden Verhaltens hat eine große Bedeutung. Nur mit dieser Fähigkeit können sich automatisiert fahrende Fahrzeuge an das Verkehrsgeschehen anpassen. So müssen sie die Anzeigen anderer Fahrzeuge (z. B. Bremslicht, Fahrtrichtungsanzeige, Rückwärtsfahrlicht) ohne zusätzliche Kommunikation zuverlässig erkennen und interpretieren, damit auch Fahrzeuge ohne kommunikationstechnische Ausstattung sicher eingebunden werden können (vgl. die Ausführungen zum Mischverkehr in Abschnitt 4.4). Dafür ist eine optische Erkennung dieser Signale im automatisierten Fahrzeug erforderlich, die unter allen Umgebungsbedingungen zuverlässig funktionieren muss.

Menschliche Verkehrsteilnehmer nutzen Signale wie Blickkontakt, Handzeichen und Mimik, z. B. in den folgenden Situationen:

- Einbiegen bei dichtem Verkehr oder Stau (z. B. Hereinwinken eines Wartepflichtigen)
- Handzeichen von Fußgängern an Zebrastreifen
- Haltzeichen von Schülerlotsen
- Fahrtrichtungsanzeige von Radfahrern
- Auflösung von Konflikten (z. B. an Engstellen oder Kreuzungen von gleichrangigen Straßen)

- Verkehrsregelung oder Haltzeichen durch Polizisten

Die Erkennung solcher Kommunikationssignale durch das automatisiert fahrende Fahrzeug stellt eine besondere Herausforderung dar und ist Gegenstand der Forschung.

Nicht alle Verhaltensweisen werden explizit angekündigt. Es lässt sich deshalb nicht immer schlussfolgern, wie sich ein erkanntes Objekt verhalten wird. Das jedoch ist besonders in komplexen Szenarien wie in Innenstädten ein wichtiger Aspekt bei der algorithmischen Bewertung der Situation. Die zuverlässige Lokalisierung, Signalauswertung und Bewegungserkennung relativ zur eigenen Bewegung sind wichtige Voraussetzungen dafür. Darüber hinaus kommt aber auch der Handhabung von Unsicherheiten, z. B. durch abrupte Verhaltenswechsel, eine große Rolle zu.³ In diesem Bereich finden seit Jahren Forschungsaktivitäten statt, u. a. auch bei der Daimler AG. Dort werden die Arbeiten zu diesem Thema unter dem Begriff 6D-Vision zusammengefasst (siehe Abbildung 3). Sie waren 2011 für den Deutschen Zukunftspreis, Preis des Bundespräsidenten für Technik und Innovation nominiert.

Des Weiteren zeigt eine nicht unerhebliche Anzahl von öffentlichen Forschungsprojekten, die sich mit der Thematik auseinandersetzen, dass hier intensive Entwicklungsarbeiten betrieben werden. In dem national geförderten Projekt UR:BAN KA (siehe Abschnitt 3.1) steht z. B. neben der allgemeinen Umfelderkennung



Abbildung 3: Daimler „6D-Vision“. (Quelle: © Daimler AG)

³ Vgl. u. a. Ulbrich, S.; Maurer, M. (2014).

Kapitel 2

und -interpretation die Erkennung von Bewegungen und Intentionen von schwächeren Verkehrsteilnehmern im Vordergrund. Fortschritte für die Verhaltensprognose können selbstlernende Algorithmen auf Basis einer schnelleren sowie robusteren Objekterkennung bringen.

Forschungsbedarf gibt es darüber hinaus auch bei der Datenverarbeitung in verteilten Systemen, in denen die auszutauschenden Daten und Bearbeitungsergebnisse in lokal getrennten, voneinander unabhängigen Systemen vorliegen. Solche verteilten Systeme werden aufgrund der Komplexität der Datenverarbeitung beim automatisierten Fahren erforderlich. Einen Ansatz zur zentralen Datenhaltung bieten Cloud-Lösungen für die Speicherung, Aggregation und Interpretation von Daten. Dabei sind die Daten durch einheitliche Struktur und Qualitätsangaben quellenunabhängig zu gestalten und der parallele Zugriff verschiedener Funktionen ist sicherzustellen.



Abbildung 4: Unterstützung von Fußgängern (z. B. durch auf die Straße projizierte Zebrastreifen), Ideen aus dem Prototyp F015. (Quelle: © Daimler AG)

Kernergebnis:

Datenfusion und Interpretation sowie die Prognose des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer (insbesondere in komplexen Umgebungen und bei widrigen Bedingungen) werden ein technologischer Schlüssel sein, um automatisiertes Fahren zu ermöglichen.

Signale des Fahrzeugs an Verkehrsteilnehmer

Einerseits müssen automatisierte Fahrzeuge über ihre Umgebung informiert sein, andererseits ist auch eine Signalisierung ihrer geplanten Fahrmanöver für die Menschen in der Umgebung notwendig. Hier ist vor allem die Kommunikation auf visueller Basis zu betrachten, über die ein großer Anteil der Verständigung abgewickelt wird (Ausnahmen z. B. Hupe, Martinshorn).

Beim automatisierten Fahren ist jedoch die Verwendung von Gesten und Handzeichen zur Signalisierung kritisch zu hinterfragen. Befindet sich ein Mensch auf dem Fahrersitz, der nicht selbst fährt, können Gesten, die nicht im Einklang mit dem unmittelbar nachfolgenden Fahrmanöver stehen, ein Risiko darstellen. Diese Signalisierung sollte daher vom Fahrzeug übernommen werden. Allerdings nutzen viele Prototypen automatisiert fahrender Fahrzeuge bislang nur ein eingeschränktes Spektrum an Möglichkeiten der Signalisierung an menschliche Verkehrsteilnehmer. In der Regel werden weder Hupe noch Lichthupe genutzt, um im Bedarfsfall menschliche Verkehrsteilnehmer zu warnen.⁴

Eine Ausnahme bildet die Studie zum F015 von Mercedes-Benz, bei der die Signalisierung eine besondere Rolle spielt (siehe Abbildung 4). Mit Hilfe von Lichtsignalen zeigt das Fahrzeug Fußgängern am Straßenrand an, dass sie erkannt wurden und die Straße queren können.

2.4 DIGITALE KARTEN UND LOKALISIERUNG

Um die Fahraufgabe zu bewältigen, muss ein automatisiertes Fahrzeug präzise und aktuell seine Position im Straßennetz kennen. Die Basis dazu sind hochgenaue digitale Karten.

Digitale Karten

Heute verfügbare digitale Karten bilden das Verkehrsnetz so ab, dass eine Navigation ausreichend funktioniert, solange Menschen die endgültigen Entscheidungen treffen. Für automatisierte Fahrmanöver ist darüber hinaus spurenaues Kartenmaterial mit Bezug zu den relevanten Umgebungsmerkmalen (Kurvenverlauf, Einengungen, Sichtbeschränkungen usw.) eine wesentliche Voraussetzung. Gleiches gilt für die Verfügbarkeit von Zusatzinformationen, beispielsweise zur Infrastruktur, wie Positionen und Status von Lichtsignalanlagen, Wechselweganzeigern und Schildern. Bei höherer Umgebungskomplexität können auch dreidimensionale, hochgenaue Umgebungsmodelle, z. B. mit Fassaden, notwendig sein.

»Das autonome Fahren stellt ganz andere Anforderungen an eine digitale Karte. Sie ist nicht mit dem vergleichbar, was wir bislang kannten. [...] Diese Karte muss genauer sein, umfassender und muss sich noch stärker an der Echtzeit orientieren als die Karten, die wir derzeit im Einsatz haben. Sie braucht eine Verkehrszeichenerkennung, noch schnellere Real-Traffic-Informationen und möglichst auch eine dreidimensionale Darstellung. Zugleich werden auf der Karte auch Informationen über Steigungen oder Gefälle benötigt. Die Karte der Zukunft, die man für das automatisierte Fahren benötigt, muss sich im Zentimeterbereich bewegen. Die Karte fürs autonome Fahren, die Karte 3.0, werden wir ebenfalls im Minutenrhythmus updaten müssen. Karten müssen immer den landestypischen Gesetzmäßigkeiten angepasst werden, entsprechend ist die Karte kulturell geprägt.«

*Christof Hellmis,
Leiter digitale Kartenplattform-Dienste bei HERE⁵*

Zumeist erfolgt die Datenerhebung⁶ für digitale Karten durch Auswertung von Satellitenaufnahmen und Befahrung der Strecken mit Spezialfahrzeugen, teilweise basiert sie auf Nutzerangaben. In jüngerer Zeit nimmt die Auswertung von großen Datenmengen, die automatisch aus mobilen Nutzergeräten⁷ erfasst werden, einen breiteren Raum ein. Mit Hilfe dieses Verfahrens lassen sich Informationen schneller und in einem höheren Detaillierungsgrad sammeln und mit Zusatzinformationen anreichern. Der Veröffentlichung im Hintergrund geht allerdings ein aufwändiger, zeitintensiver Prozess zur Validierung und Bereitstellung voraus.

Diese Nachbearbeitung ist ein Grund für die unzureichende Aktualität der Karten. Für fest eingebaute Navigationssysteme gibt es neue Karten meist nur im Jahresabstand. Hersteller von mobilen Navigationssystemen bieten etwas häufiger, z. B. einmal pro Quartal, aktualisierte Karten an. In beiden Fällen muss der Anwender der Navigation aktiv die Aktualisierung veranlassen. Weniger Aufwand für den Nutzer fällt bei Karten aus Online-Diensten an. Diese Karten liegen auf zentralen Servern und werden bei Bedarf auf das Endgerät geladen. Somit stehen neue Informati-

⁴ Vgl. Smith, B. W. (2014).

⁵ Vgl. autogazette (2014b).

⁶ Vgl. zeit.de (2013).

⁷ Vgl. fahrueck.de (2013).

Kapitel 2

onen ohne Zutun des Nutzers bereit und kürzere Update-Raten sind möglich. Die Inhalte basieren weiterhin auf statischen Daten und bilden nur langfristig geplante Anpassungen ab. Aber auch die Einbeziehung von temporären Änderungen in der Verkehrsführung (siehe Abbildung 5) sowie von dynamischen Vorgaben, z. B. durch Wechselverkehrszeichen, wird für die Automatisierung unbedingt erforderlich sein. Dazu sind aktuelle Informationen und die Kommunikation mit einem zentralen Server zwingend.

Darüber hinaus ist eine Weiterentwicklung von selbstlernenden, hochgenauen Karten erfolgversprechend, wenn aktuelle Informationen aus anderen, vertrauenswürdigen Fahrzeugen direkt zur Verfügung stehen. Dies ist eine wichtige Grundlage für automatisiertes Fahren in sich verändernden Straßennetzen. Ein konkretes Beispiel dafür ist die dynamische Fahrstreifenzuteilung. Diese Maßnahme erfordert eine Ad-hoc-Abbildung des variablen Umfeldes in der digitalen Karte. Außerdem müssen evtl. entstehende Missverständnisse zwischen der aktuellen Positionierung und der Karte interpretiert werden.

Zur Erfüllung der Anforderungen an den Informationsgehalt, die Genauigkeit, die Verfügbarkeit und die Aktualität von digitalen Karten und Zusatzinformationen sind vermehrt Anstrengungen im Automobilbereich sichtbar, eigene Kompetenzen aufzubauen und Lösungen zu schaffen. Als Beispiel hierfür sei die Schildererkennungs-App (myDriveAssist) für Smartphones genannt, die zentral die Daten zu den erkannten Objekten (in diesem Fall Verkehrsschilder) sammelt und auswertet. Diese Informationen sind zur Aktualisierung von digitalen Karten verwendbar. Außerdem unterstreicht der Bieterkampf um den Kartenhersteller HERE (ehemals Navteq) die Relevanz von digitalen Karten für zukünftige Fahrzeugfunktionen.

Weniger aufwändig und daher möglicherweise eher verfügbar ist die detaillierte Umgebungsdarstellung in speziellen Gebieten wie Parkhäusern. Diese Karten sollten nur im Bedarfsfall in der aktuellen Version in das Fahrzeug übertragen werden.

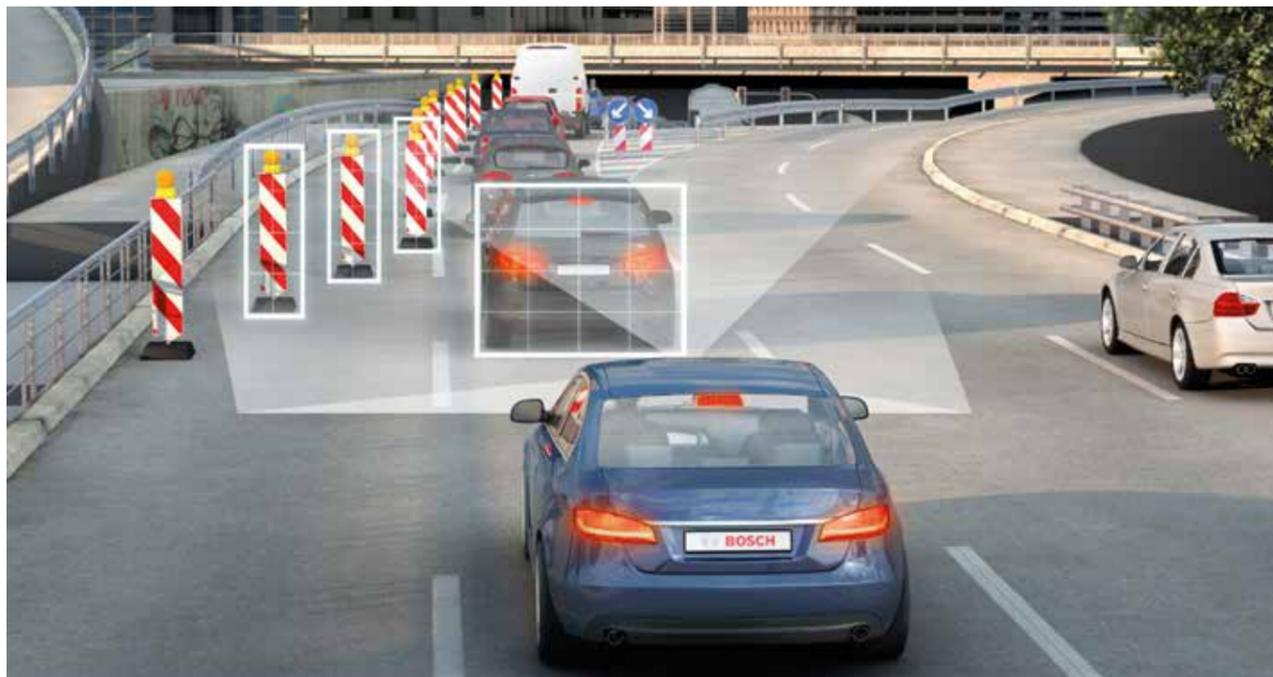


Abbildung 5: Temporäre Änderung der Verkehrsführung. (Quelle: © Bosch)

Lokalisierung

Die spurgenaue Fahrzeuglokalisierung auf Basis einer digitalen Karte ist ebenfalls ein essentieller, aber noch nicht hinreichend erforschter Baustein für das automatisierte Fahren. Nur damit können Fahrspurwahl und -wechsel wirklich sicher gestaltet werden. Auch automatisierte Parkvorgänge benötigen sehr genaue Informationen über die Fahrzeugposition auf der Parkfläche oder innerhalb des Parkhauses. Satellitengestützte Lokalisierungssysteme wie GPS, GLONASS und künftig Galileo leisten hierfür einen wichtigen Beitrag. Sie reichen allein aber nicht aus, weil die Genauigkeit quer zur Fahrbahnachse in städtischen Straßen mit den dort üblicherweise seitlich angeordneten, höheren Gebäuden ebenso wie die Genauigkeit innerhalb von Gebäuden aus technologischen Gründen zu gering bleibt.

Infobox: Positionsbestimmung durch Satellitenortungssysteme

Die Bestimmung von Positionen auf Grundlage von Satellitenortungssystemen erfolgt über die Auswertung von Signallaufzeiten zwischen den zu empfangenden Satelliten und dem jeweils zu ortenden Empfänger am Boden. Daraus werden Entfernungen ermittelt, die über mathematische Modelle zu Koordinaten auf der Erdoberfläche führen. Allerdings unterliegt die Messung der Signallaufzeiten bzw. Entfernungen bestimmten zufälligen und systematischen Schwankungen bzw. Fehlern. So wirken sich beispielsweise die Anzahl und Anordnung der sichtbaren Satelliten, die wechselnden Verhältnisse in der Atmosphäre bzw. Ionosphäre sowie die Bebauung am Boden auf die Messungen aus. Im Ergebnis lässt sich daher kein genauer Punkt auf der Erde bestimmen, sondern eine Fläche, in der dieser Punkt wahrscheinlich liegt. Je stärker die genannten negativen Effekte wirken, desto größer ist auch diese Fläche, d. h., desto ungenauer wird die Bestimmung der gesuchten Koordinate. Um die Wirkung dieser Effekte zu reduzieren, kommen verschiedene Korrektursysteme zum Einsatz. Sehr bekannt und verbreitet ist das sogenannte Differential-GPS. Hierbei erhält der zu ortende Empfänger über einen Datenkanal (z. B. Mobilfunk) Korrektursignale, die

im Wesentlichen zu einer Verschiebung der eigentlich ermittelten Koordinate verwendet werden. Bezugspunkte zur Ermittlung solcher Korrektursignale können Referenzstationen sein, deren genaue Positionen auf der Erdoberfläche bekannt sind und die damit den jeweils aktuellen Fehler quantifizieren können. Es gibt weltweit mehrere Betreiber solcher Referenzstationen. Je weiter aber der zu ortende Empfänger von den nächstliegenden Stationen entfernt ist, desto schlechter wirkt diese Art der Fehlerkorrektur.

Zur spurgenaue Ortung an urbanen Straßenkreuzungen wird es voraussichtlich notwendig sein, ergänzende lokale Korrektursysteme zum Einsatz zu bringen. Darüber hinaus kommt die in Abschnitt 2.2 beschriebene fahrzeugeigene Sensorik zur Umfelderkennung in Verbindung mit dem Datenaustausch mit anderen Fahrzeugen bzw. der Infrastruktur über Positionen, Abstände, Geschwindigkeiten und Fahrtrichtungen infrage. Entscheidend für eine erfolgreiche Einführung solcher oder ähnlicher Systeme ist die Beantwortung der Frage, ob sie global standardisiert werden.

Die Tatsache, dass moderne Navigationsgeräte oder entsprechende Smartphone-Apps die aktuelle Position entlang der aktuell befahrenen Straße trotz ungenauer Lokalisierung bereits heute präzise anzeigen können, beruht auf dem sogenannten Map-Matching (Karteneinpassung). Dabei wird lediglich die ermittelte Position mit Methoden, die auch die Bewegung des Fahrzeugs in den davorliegenden Sekunden betrachten, in der Karte auf die passende Stelle „gezogen“. Eine Spurgenaue ist so jedoch nicht zu erreichen.

Kernergebnis:

Die spurgenaue Fahrzeuglokalisierung ist von essentieller Bedeutung für das automatisierte Fahren. Die bisher genutzte Satellitenortung reicht dazu nicht aus. Es müssen Zusatzsysteme zum Einsatz kommen. Je präziser und aktueller die dabei genutzten digitalen Karten sind, desto genauer und zuverlässiger lassen sich die Positionen der Fahrzeuge im Verkehrsnetz sowie im Verhältnis zu anderen Fahrzeugen und Hindernissen bestimmen.

Kapitel 2

2.5 KOMMUNIKATION UND VERNETZUNG

In vernetzten Fahrzeugen werden gleichzeitig zwei verschiedene Kommunikationsumgebungen genutzt. Einerseits bildet jedes Fahrzeug ein eigenes Kommunikationsnetz, in dem die Fahrzeugkomponenten miteinander verbunden sind. Andererseits sind die Fahrzeuge über Kommunikationsbeziehungen mit der Außenwelt (andere Fahrzeuge, Infrastruktur, Zentralen) verbunden. Diese Aspekte werden im Folgenden betrachtet, wobei der Schwerpunkt auf der externen Vernetzung liegt. In beiden Umgebungen müssen die Absicherung der Kommunikation und die Datensicherheit gewährleistet sein.

Fahrzeuginterne Kommunikation

Die in Abschnitt 2.2 dargestellte Sensorik ist im Fahrzeug miteinander sowie mit anderen elektronischen Fahrzeugkomponenten vernetzt.

Erste Ansätze zur Automatisierung, also die ersten Fahrerassistenzsysteme, benötigten nur eine vergleichsweise einfache interne Vernetzung. Ein zentrales Steuergerät übernahm die erforderlichen Aufgaben wie Sensordatenumwandlung, Berechnungen und Ansteuerung der Aktorik. Hohe Datenübertra-

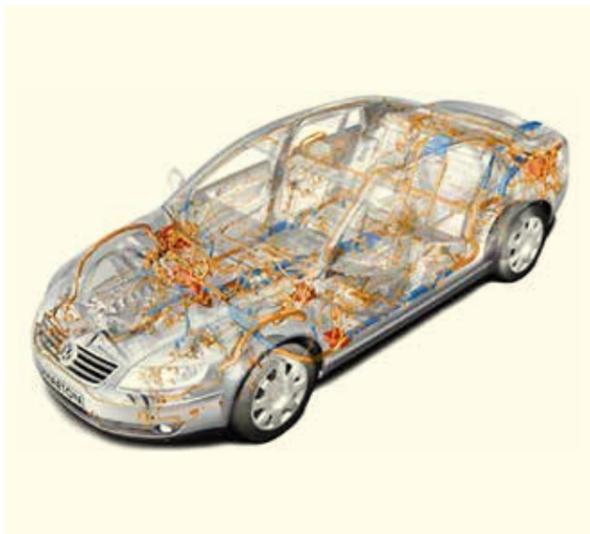


Abbildung 6: Vernetzung im Automobil. (Quelle: © Fraunhofer Verkehr)

gungsraten waren hier nicht nötig. Die Anbindung erforderte keine ausgefeilte Kommunikationsinfrastruktur. Allerdings führte die Weiterentwicklung zur Vergrößerung der ohnehin schon beträchtlichen Kabellängen in Fahrzeugen.

Heutzutage werden standardisierte Systeme zur Übertragung zwischen den Fahrzeugkomponenten (Bus-Systeme) wie LIN, CAN, MOST, Flexray und Ethernet mit höheren Datenraten zur Vernetzung eingesetzt, die auch eine Abfrage von mehreren Sensoren und die Ansteuerung unterschiedlicher Aktoren erlauben.⁸ Die aktuell eingesetzten fahrzeuginternen Informations- und Kommunikationstechnologien gestatten es, Signale unterschiedlicher Quellen an einer Stelle zu kombinieren und zu verarbeiten. Heutige Fahrerassistenzsysteme können infolgedessen Daten mehrerer Sensoren (z. B. Radar und Kamera) gleichzeitig verwenden. Dies geschieht zum einen aus Redundanzgründen (Ausfall eines Sensors) und zum anderen, um die Stärken der unterschiedlichen Sensortechnologien zu kombinieren und so wesentlich bessere Umfeldinformationen zu erhalten (siehe Abschnitt 2.2).

Zukünftig werden aus Sicht der automatisierten Fahrzeugsysteme die Anforderungen an die interne Vernetzung weiter steigen, besonders bzgl. der Übertragungsgeschwindigkeit und -sicherheit. Die parallele Verwendung unterschiedlicher Bus-Systeme mit ihren jeweils eigenen Datenübertragungsraten wird auf Dauer keine Lösung sein können. Vielmehr geht es darum, einen neuen, einheitlichen Bus-Ansatz zu entwickeln, um allen Ansprüchen zu genügen und gleichzeitig Kabellängen und Kosten zu reduzieren. Hier sind Innovationen erforderlich. Ethernet, das aus der Bürokommunikation stammend mittlerweile auch den Einzug in die Fahrzeuge gefunden hat, sollte eine Option für eine entsprechende Weiterentwicklung sein.

⁸ Für eine detaillierte Darstellung der einzelnen Bus-Systeme und des Themas „Informations- und Kommunikationstechnologien im Fahrzeug“ sei an dieser Stelle auf das gleichnamige Kapitel der Studie der BMW Mobil „Systemanalyse 2013, IKT- und Energieinfrastruktur für innovative Mobilitätslösungen in Baden-Württemberg“ verwiesen.

Infobox:

Standards für Software im Automobil

Ein Zusammenschluss aus Automobilherstellern und Zulieferern – AUTOSAR (AUTomotive Open System ARchitecture) – definiert eine Software-Architektur für die Embedded Software im Automobilbereich, die auf einer Struktur mit voneinander getrennten Layern basiert (siehe Abbildung 7). Wichtig ist dabei insbesondere der Layer „Echtzeitumgebung (RTE)“, der die Anwendungsschicht von den darunterliegenden internen Schichten trennt und deshalb eine von der konkreten Implementierung im Fahrzeug unabhängige Anwendungsentwicklung ermöglicht.

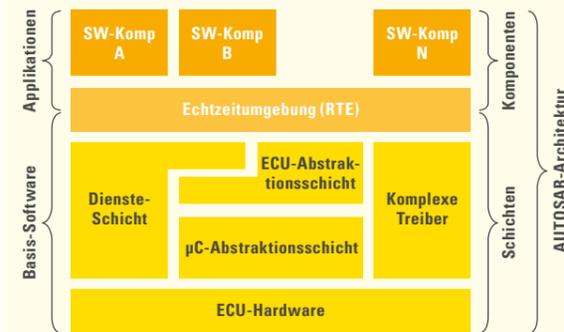


Abbildung 7: Layer der Software-Architektur, definiert von AUTOSAR. (Quelle: elektroniknet.de (2010))

Kommunikation mit der Umgebung (Fahrzeugvernetzung)

Automatisiertes Fahren wäre unter bestimmten Rahmenbedingungen ohne Kommunikation mit der Umgebung denkbar. Jedoch würden solche Systeme an Grenzen stoßen. Außerdem muss sichergestellt sein, dass alle verkehrsrechtlich relevanten Anforderungen durch das Fahrzeug aufgenommen werden, insbesondere auch dynamisch veränderliche Vorgaben von Streckenbeeinflussungs- und Lichtsignalanlagen oder Vorgaben im Zuge von Baustellenabsicherungen. Dies ist aufgrund möglicher Verdeckung, ungünstiger Umgebungsbedingungen und opti-

scher Eigenschaften bestimmter Wechselverkehrszeichen durch eine rein visuelle Erfassung nicht immer gegeben.

Auch die Vorausschau und die Reaktion auf andere Fahrzeuge sind ohne Zusatzinformationen stark eingeschränkt. Als Beispiel kann eine Einmündung bei sehr dichtem Verkehr dienen: Ohne die Rücksicht eines anderen Verkehrsteilnehmers ist es gelegentlich nicht möglich, in den laufenden Verkehr einzubiegen. Menschliche Fahrer greifen dafür auf ihre Sinne, ihr Erfahrungswissen und auf zwischenmenschliche Kommunikation (z. B. Gesten) zurück. Die dafür als Ersatz in Abschnitt 2.2 vorgestellten Sensoren reichen aber im Beispiel nicht aus, um die Situation zu bewältigen. Die datenmäßige Vernetzung mit anderen Fahrzeugen, mit der Infrastruktur und mit Zentralen erweitert den Informationshorizont und ist deshalb ein wichtiger Bestandteil für das automatisierte Fahren.

Infobox: C2X

Für die Vernetzung von Fahrzeugen untereinander und mit der Infrastruktur sind unterschiedliche Bezeichnungen und Schreibweisen gebräuchlich.

Dabei werden für die Fahrzeugseite alternativ die Begriffe Car oder Vehicle mit den Abkürzungen C oder V verwendet. Im deutschsprachigen Raum findet man zumeist Car, im englischsprachigen dagegen Vehicle. Der englische Begriff ist weniger einschränkend und wird deshalb gelegentlich auch in deutschen Texten genutzt, wenn z. B. Busse oder Fahrräder mit betrachtet werden.

Für die Infrastrukturseite wird einheitlich der englische Begriff Infrastructure mit Abkürzung I genutzt. Die Verbindung wird entweder durch das englische Wort to oder durch die Zahl 2 ausgedrückt.

Begriffe wie Car2Car, Car-to-Car, C2C, aber auch V2V oder Vehicle-to-Vehicle bezeichnen also die Vernetzung von Fahrzeugen miteinander.

Kapitel 2

Begriffe wie *Car2Infrastructure*, *Car-to-Infrastructure*, *C2I*, *V2I* oder *Vehicle-to-Infrastructure* beschreiben die Vernetzung von Fahrzeugen mit der Infrastruktur.

Verallgemeinern lässt sich die externe Vernetzung von Fahrzeugen durch Gebrauch der Abkürzung *X*. Begriffe wie *C2X* oder *Vehicle-to-X* bezeichnen die Vernetzung von Fahrzeugen sowohl mit anderen Fahrzeugen als auch mit Verkehrs- und Kommunikationsinfrastrukturen.

Für die Kommunikation stehen derzeit diverse Technologien zur Verfügung.⁹ Relevant sind hier insbesondere Wireless LAN (WLAN) nach ITS G5 und Mobilfunk der 4 und 5. Generation (LTE) sowie für einige Anwendungen auch digitaler Rundfunk und Bluetooth.

Die WLAN-Technologie bietet sich insbesondere für die schnelle Weitergabe von Meldungen (vor allem Gefahrenmeldungen) zwi-

schen räumlich nahen Fahrzeugen und ggf. Infrastruktureinheiten an. Beispielsweise eignet sie sich gut zur Auflösung des oben beschriebenen Einmündungsproblems.

Dass die WLAN-Technologie funktioniert und alltagstauglich ist, haben mehrere groß angelegte Feldtests, wie z. B. im nationalen abgeschlossenen Forschungsprojekt simTD oder im europäisch geförderten Projekt DRIVE C2X belegt. Im Projekt simTD wurden zum Beispiel mit über 120 Fahrzeugen Warn- und Verkehrslenkungsfunktionen erprobt. Die Ergebnisse sind unmittelbar in Standardisierungsaktivitäten z. B. bei ETSI¹⁰ über das Car2Car Communication Consortium (C2C CC) eingeflossen. Wesentliche Inhalte des ITS-G5-Standards basieren u. a. auf den Projektergebnissen. Neben der positiven Resonanz in Bezug auf die technischen Aspekte konnte auch ein positiver Nutzen-Kosten-Faktor begründet werden.

In den Forschungsvorhaben wurden jedoch vornehmlich nur informierende bzw. warnende Funktionalitäten aufgezeigt. Eine

Beschränkung auf diese Funktionalitäten ist zunächst auch bei Markteinführung der Technologie in den Fahrzeugen zu erwarten. Für die Einbeziehung der Kommunikationsinformationen in sicherheitskritische, d. h. unmittelbar eingreifende Fahrfunktionen sind noch umfangreiche Entwicklungsarbeiten notwendig.

Im Gegensatz zur WLAN-Technologie verwenden heute schon Automobilhersteller den Mobilfunk in seiner derzeitigen 4. Generation, u. a. um ihren Kunden Mehrwertdienste anzubieten. Momentan wird an Nachfolgestandards (5. Generation) gearbeitet, die noch höhere Datenraten und kürzere Latenzzeiten ermöglichen. In neue Standards sollen auch die für die Fahrzeugkommunikation spezifischen Anforderungen einfließen.

Der Mobilfunk bildet ein wichtiges Element für zukünftige Automatisierungssysteme im Hinblick auf die im Abschnitt 2.4 darge-

stellte Erweiterung des Sichthorizontes durch die Verwendung von hochgenauen dreidimensionalen Karten. Diese benötigen immer wieder eine bidirektionale Verbindung zur Aktualisierung. Eine Realisierung höherer Automatisierungsstufen in komplexen Situationen ist somit ohne Mobilfunkkommunikation kaum vorstellbar.

Eine weitere Technologie zur Übertragung von Informationen in das Fahrzeug ist die schon seit Jahren vorhandene Rundfunktechnologie. Unter Rundfunk (engl.: Broadcasting) versteht man alle Kommunikationstechnologien, die Daten versenden, ohne einen Rückkanal zur Verfügung zu stellen. Ein wesentlicher Vorteil von Broadcasting-Technologien besteht darin, dass beliebig viele Empfänger mit Daten bzw. Informationen versorgt werden können, ohne dass sich die Belastung des Kommunikationskanals erhöht. Das ist vor allem interessant, wenn viele Fahrzeuge auf einer Strecke oder in einer Region mehr oder weniger zeitgleich dieselben Daten (z. B. neue Umgebungsdaten) benötigen. Bereits seit Mitte der 1990er Jahre hat sich Broadcasting im Bereich der Verkehrsinformation etabliert. Die Verteilung von Verkehrsinformationen erfolgt neben der mündlichen Ausstrahlung auch in Form von Datenpaketen über den analogen terrestrischen Rundfunk (UKW, FM), indem diese als „Traffic Message Channel (TMC)“ im programmbegleitenden „Radio Data System (RDS)“ versendet und zum Beispiel von Navigationsgeräten interpretiert werden. Nachteilig bei RDS/TMC sind die recht geringe Datenkapazität, die teilweise recht langen Aktualisierungszyklen sowie die starre und sehr begrenzte Möglichkeit, Orte und Ereignisse zu kodieren (Listenverfahren). Abhilfe schafft an dieser Stelle das digitale Radio, das sogenannte „Digital Audio Broadcasting (DAB)“, das seit Ende der 1990er Jahre bzw. als „DAB+“ seit 2011 in Betrieb ist. Über programmbegleitende Datenkanäle können hier deutlich häufiger und deutlich mehr verkehrsrelevante Daten übertragen werden. In Verbindung mit neuen Datenprotokollen (TPEG) kann die Übermittlung nahezu beliebig vieler Orte, Ereignisse und anderer Daten erfolgen. Auch bei neueren Mobilfunkstandards und ITS G5 lassen sich Broadcasting-Modi nutzen. Der wesentliche Vorteil von terrestrischem Rundfunk gegenüber Mobilfunk besteht wegen der höheren Reichweite in deutlich geringeren Infrastrukturkosten.¹¹

Infobox: ITS G5

Der WLAN-Standard nach ITS G5 für C2C- bzw. C2I-Kommunikation basiert auf dem aus der heutigen Computerwelt bekannten Protokoll des Standards IEEE 802.11a/b/g, allgemein bekannt unter den Begriffen WLAN bzw. WiFi. Aufbauend auf diese Standards wurde eine spezielle Version für die Fahrzeugkommunikation entwickelt (IEEE 802.11p), die u. a. wesentlich schnellere Ad-hoc-Verbindungen ermöglicht. Zudem werden dafür andere, speziell lizenzierte Frequenzen (5-GHz-Band) verwendet. Dies wiederum gestattet die Übertragung sicherheitsrelevanter Informationen, ohne dass eine Beeinflussung durch den sonstigen Datenverkehr erfolgt. Da der Standard für die freigegebenen Frequenzen in den USA entworfen wurde und diese Frequenzen sich von den europäischen etwas unterscheiden, erfolgte eine entsprechende Anpassung für europäische Systeme im ETSI-ITS-G5-Standard. So wurde im Jahr 2008 auf EU-Ebene ein Frequenzband im Bereich 5,9 GHz (30 MHz Bandbreite, 5.875 MHz bis 5.905 MHz) festgelegt, das nur für Anwendungen aus dem Bereich der Verkehrssicherheit und der Verkehrseffizienz zur Verfügung steht.

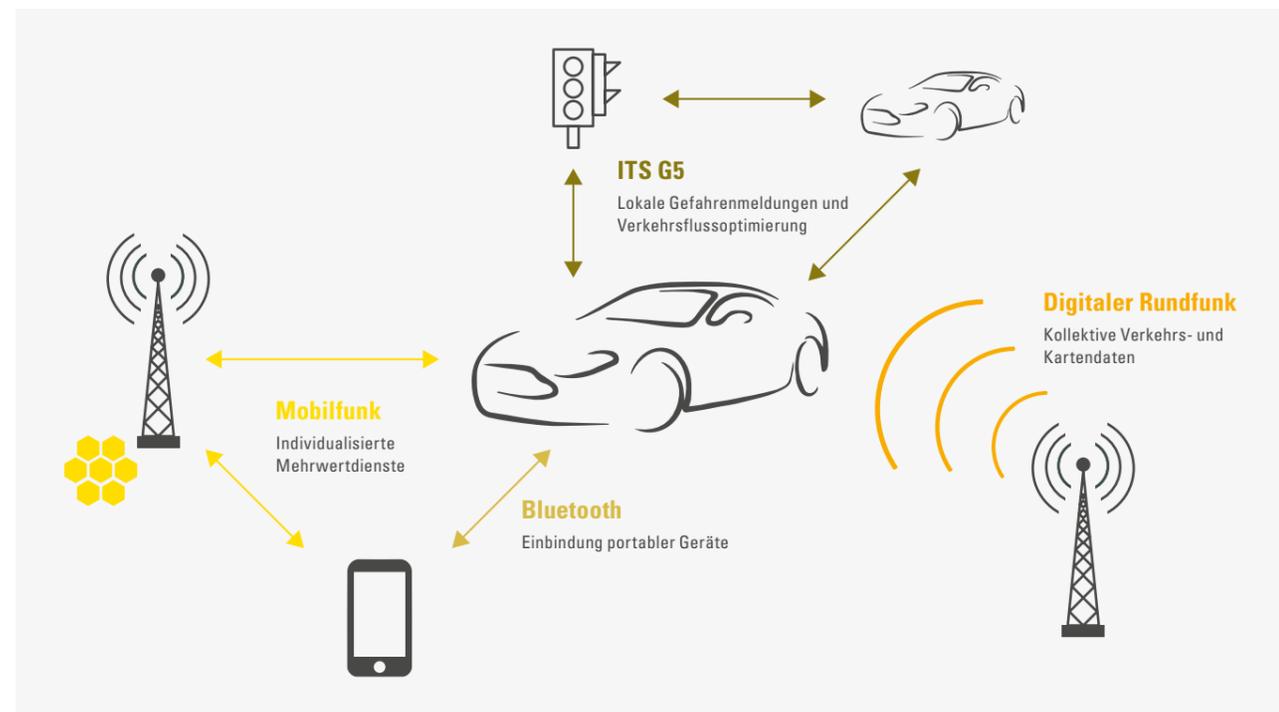


Abbildung 8: Kommunikationstechnologien für Fahrzeuge im Straßenverkehr. (Eigene Darstellung)

⁹ Für eine Auflistung der Technologien sei an dieser Stelle auf die Abbildung „Standards und Technologien für die Datenübertragung“ auf Seite 31 der Studie der BW⁹ Mobil „Systemanalyse 2013, IKT- und Energieinfrastruktur für innovative Mobilitätslösungen in Baden-Württemberg“ verwiesen.

¹⁰ Siehe <http://www.etsi.org>

¹¹ Friedl, G. et al. (2014).

Kapitel 2

Neben den bisher genannten Kommunikationstechnologien sei hier noch der Standard Bluetooth (IEEE 802.15.1) erwähnt. Typischerweise werden damit Smartphones und andere mobile Geräte der Mitfahrer drahtlos mit Informations- und Unterhaltungssystemen des Fahrzeugs verbunden. Die Vernetzungstechnologie ist für Komfortfunktionen geeignet und für den Nahbereich unter 10 m Abstand ausgelegt. Im Mittelpunkt stehen kurze Latenzzeiten, geringer Energiebedarf und kleinere Datenmengen. Mit der neueren Version „Bluetooth Low Energy“ lassen sich Sensoren besonders energiesparend vernetzen, die z. B. als Ortsmarken zur Unterstützung von Ortungsfunktionen dienen können (z. B. iBeacon von Apple).

Grundsätzlich haben alle genannten Technologien spezifische Eigenschaften, die anwendungsbezogen oder situativ in unterschiedlichem Maße vorteilhaft oder nachteilig sind. Für automatisierte Fahrfunktionen sind die Rückkanalfähigkeit sowie kurze Latenzzeiten wichtige Kriterien. Für die Verteilung gleichartiger Daten bzw. Informationen für eine Region oder einen längeren Streckenabschnitt sind große Reichweite und hohe Übertragungskapazität besonders relevant.

Da bisher keine Technologie alle Anforderungen gleichermaßen gut erfüllt und nicht alle Fahrzeugfunktionen die gleichen Anforderungen (z. B. an Latenz und Rückkanalfähigkeit) stellen, werden Fahrzeuge auch mittelfristig verschiedene Kommunikationskanäle unterstützen und diese gezielt kombinieren müssen. Derartige Ansätze tragen die Bezeichnung „hybride Kommunikation“. Auch hierzu gibt es zahlreiche Forschungsaktivitäten. Zum Beispiel wird in dem national geförderten Projekt CONVERGE (siehe Abschnitt 3.1) solch ein hybrider Ansatz realisiert. Zukünftig gilt es, den jeweils optimalen Kommunikationsweg zu finden

Technologie	Reichweiten	Übertragungskapazitäten	Rückkanalfähigkeit	Latenzzeiten
Bluetooth	1 bis 10 m	< 2,1 Mbit/s	Ja	30–90 ms
ITS G5	100 bis 1.000 m	< 27 Mbit/s	Ja	50–100 ms
LTE (Mobilfunk)	1 bis 10 km	> 50 Mbit/s	Ja	25 ms
DAB+ (Digitalradio)	50 bis 100 km	< 80 kBit/s (pro Ensemble)	Nein	> 2 min

Tabelle 3: Spezifische Eigenschaften ausgewählter Kommunikationstechnologien.¹² (Eigene Darstellung)

und zu nutzen. Eine grundlegende Voraussetzung für die Anwendung von Kommunikationstechnologien in Fahrzeugen ist die globale Standardisierung.

Kernergebnis:

Die betrachteten Kommunikationstechnologien weisen unterschiedliche Merkmale auf, aber keine erfüllt alle Anforderungen. Abhängig von der gewünschten Funktionalität und Anwendung wird deshalb auf unterschiedliche Technologien zurückgegriffen oder es werden Kombinationen genutzt (hybride Kommunikation).

Datensicherheit und Absicherung der Kommunikation

Automatisiert fahrende Fahrzeuge müssen hohe Anforderungen an die Datensicherheit und den Datenschutz erfüllen. Sowohl für die fahrzeuginterne als auch für die externe Kommunikation sowie für die Informationsübertragung dazwischen ist zu gewährleisten, dass die anfallenden, vielfach sensiblen Daten nur bestimmungsgemäß genutzt werden. Es muss verhindert werden, dass das Fahrzeug bzw. seine Funktionen durch unerwünschte oder kriminelle Eingriffe von außen beeinträchtigt werden. Eine Vielzahl potenzieller „Angriffspunkte“ lässt sich identifizieren, wie Abbildung 9 zeigt.

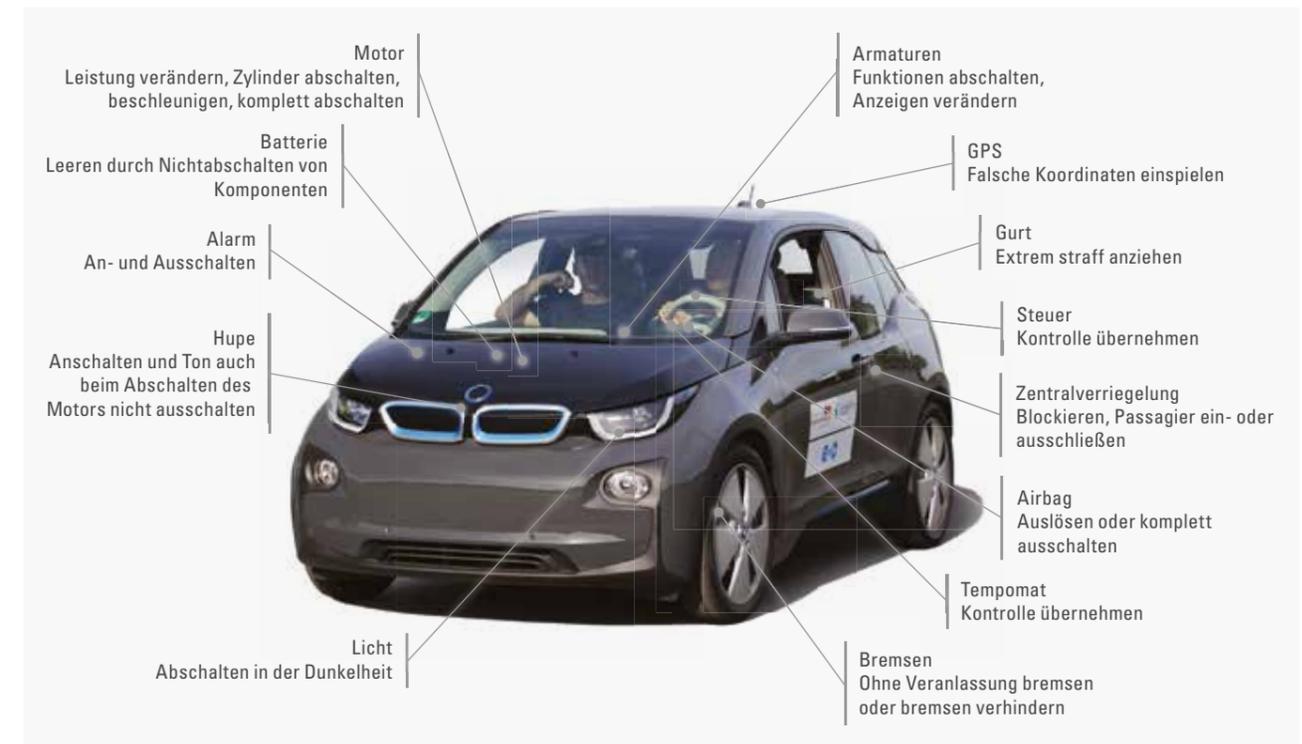


Abbildung 9: Beispiele potenzieller Angriffspunkte. (Eigene Darstellung)

Zwei bekanntgewordene Beispiele zeigen die potenzielle Anfälligkeit von Vernetzungs- und Automatisierungsfunktionen:

- Chinesische Studenten haben im Rahmen eines Wettbewerbes zur Aufdeckung von Sicherheitslücken auf die Bordelektronik eines Tesla Model S zugegriffen und bei voller Fahrt Türen und Schiebedach geöffnet sowie die Hupe betätigt und das Licht eingeschaltet. Sie nutzten dazu den schlüssellosen Einstieg und die zugehörige mobile App.¹³
- Ein Experte, der vom ADAC mit der Prüfung von Informationen aus BMW-Fahrzeugen beauftragt war, entdeckte eher zufällig eine Lücke in der ConnectedDrive-Ausstattung dieser Fahrzeuge. Die Türen ließen sich wegen fehlender Verschlüsselung in kurzer Zeit mit einem Smartphone und einer passenden App auch von nicht berechtigten Personen öffnen.¹⁴

In beiden Fällen reagierten die Unternehmen zeitnah auf die berichteten Probleme. Bei BMW reichte beispielsweise ein Software-Update zur Schließung der Sicherheitslücke.

Die Automobilhersteller und Zulieferer haben die Herausforderungen erkannt, die sich aus den Anforderungen zur Datensicherung ergeben, und reagieren mit erhöhten Anforderungen an die Authentisierung und Verschlüsselung der Daten (Kryptographie). Dies stellt einen wichtigen Faktor für die Sicherheit und die Integrität der Daten dar. Die Sicherheit der Verschlüsselung beruht weitestgehend darauf, dass die Berechnungen, die benötigt werden, um sie zu „knacken“, kompliziert sind oder lange dauern. Die Sicherheit hängt deshalb sowohl vom angewandten Verfahren als auch von der Art und Länge des gewählten Schlüssels ab. Als besonders sichere Verschlüsselung gilt gegenwärtig AES-256 (Advanced Encryption Standard), der mit einem Schlüssel

¹² Vgl. Ericsson (2013).

¹³ Vgl. spiegel.de (2014a).

¹⁴ Vgl. heise.de (2015a).

Kapitel 2

aus 256 Bit arbeitet. Für dieses Verfahren und bei Verwendung eines ausreichend langen und komplexen Schlüssels dauert die Suche (Brute Force) auch mit heutigen Hochleistungsrechnern so lange, dass ein Angriff nicht mehr auf diese Weise durchgeführt werden kann. Für das Entschlüsseln ohne Kenntnis des Schlüssels wäre ein Angreifer auf revolutionäre Entwicklungen in der Rechentechnik wie massiv parallele Bearbeitung mit speziell dafür entwickelter Hardware (z. B. Grafikprozessoren, Quantencomputer) oder auf noch unbekannte Schwachstellen im Algorithmus selbst angewiesen.

Infobox:

Verschlüsselung

Die Firma RSA Labs hat einen Wettbewerb zur Überwindung des weit verbreiteten Verschlüsselungsverfahrens RSA (RC5-72) ausgeschrieben. Die Tester benutzen ein speziell abgestimmtes Programm zum Prüfen aller möglichen Schlüssel. Die dazu benötigte Zeit hängt gravierend von der Schlüssellänge ab. Mit einem Rechner, der ca. 2 Mrd. Schlüssel pro Sekunde generieren kann (PC aus dem Jahr 2011), sind zur Überprüfung aller Kombinationen für einen Schlüssel der gebräuchlichen Länge 8 die in der Tabelle dargestellten Zeiten erforderlich.

Schlüssel, bestehend aus 8	Anzahl Kombinationen	Maximal benötigte Zeit
Zahlen	100.000.000	0,05 Sekunden
Kleinbuchstaben	208.827.064.576	1,7 Minuten
Groß- und Kleinbuchstaben	53.459.728.531.456	7 Stunden
Groß-/Kleinbuchstaben und Zahlen	218.340.105.584.896	29 Stunden

Tabelle 4: Verschlüsselungszeiten. (Quelle: 1PW (2011))

Für Schlüssel, die aus 15 Buchstaben und Zahlen bestehen, beträgt die Rechenzeit zum Testen aller Schlüssel mit denselben technischen Voraussetzungen bereits mehr als 800 Mio. Jahre. Die maximale Schlüssellänge für die hier betrachtete RSA-Verschlüsselung beträgt 72 Zeichen.

Allerdings müssen bei der Anwendung im Automobilbereich einige Rahmenbedingungen beachtet werden:

- Wesentliche Komponenten in heutigen Fahrzeugen sind ausschließlich auf den Aspekt der Fahrsicherheit hin optimiert. In Bezug auf die Datensicherheit und die Absicherung der Kommunikation konnte bisher davon ausgegangen werden, dass alle teilnehmenden Komponenten „vertrauenswürdig“ sind und dass das Kommunikationsnetz geschlossen – also von außen nicht ohne weiteres zugänglich – ist.
- Jedes einzelne Steuergerät im Fahrzeug und die Kommunikation zwischen diesen muss geschützt werden. Das gilt auch für die mit kleinerer CPU (8/16 Bit) und geringem Speichervolumen (wenige Kilobyte) ausgestatteten Komponenten, wie zum Beispiel den GPS-Sensor oder den Bremsaktuator.
- Sichere Verschlüsselungsverfahren sind bei der Anwendung rechenzeit- und speicherintensiv. Sie lassen sich oft nicht problemlos in die automobilen Umgebung einbringen und werden gelegentlich durch einfachere Verfahren ersetzt.

Darüber hinaus müssen die aus vielen Anwendungen bekannten Risiken berücksichtigt werden.

- Fehler in der Anwendung, die es Angreifern erlauben, in das System einzudringen, sind nicht auszuschließen.
- Sogenannte „Seitenkanalangriffe“ können u. U. die Sicherheitsmechanismen in relativ kurzer Zeit (Stunden, Tage) überwinden. Sie beobachten von außen sichtbare Effekte, wie zum Beispiel den Stromverbrauch oder Funkprotokolle, und ziehen daraus Rückschlüsse auf die Verschlüsselung. Diese Methode eröffnet zusätzliche, nicht offensichtliche Angriffsmöglichkeiten. Allerdings wird dazu aufwändige Messtechnik benötigt.

Diese Rahmenbedingungen finden in Entwicklungen von Fahrzeugkomponenten und Kommunikationstechnologien Berücksichtigung. So gibt es Softwarebibliotheken und Hardwaremodule zur Verschlüsselung, die standardisierte Schnittstellen bedienen und für diesen Einsatz optimiert sind. Auch an sicheren

Verbindungen zwischen den Komponenten wird gearbeitet. Die Zusammenarbeit zwischen IT-Sicherheitsexperten und Automobilherstellern wird intensiviert; Automobilhersteller gründen eigene IT-Abteilungen wie zum Beispiel das Elektronik Center von Audi in Ingolstadt oder CAR IT bei BMW in München. Zur Bedeutung dieser Entwicklung siehe auch die Ausführungen in Abschnitt 5.4.

Auch unabhängig von speziellen Automobilherstellern erfolgt die Entwicklung von Analysewerkzeugen zum Auffinden von Lücken, wie zum Beispiel der Hardware CANTact¹⁵, die zusammen mit der Software CANard eine Analyse des CAN-Busses erlaubt.

Kernergebnis:

Die Absicherung der Datenverarbeitungskomponenten und der Kommunikation gegen Fehlfunktionen und äußere Einflüsse ist eine Grundvoraussetzung für Verbreitung von Automatisierung und Vernetzung.

Trotz aller Anstrengungen und Erfolge bei den technischen Maßnahmen können diese allein keine umfassende Sicherheit gewährleisten. Wichtig sind ebenso rechtliche Vorgaben sowie organisatorische und konzeptionelle Maßnahmen.

2.6 SCHNITTSTELLE ZWISCHEN FAHRER UND FAHRZEUG

Solange der Fahrer an der Führung des Fahrzeugs beteiligt ist, kommt der Schnittstelle zwischen ihm und dem Fahrzeug eine entscheidende Bedeutung zu. Diese Schnittstelle ist in Bezug auf das funktionale Design und die Nutzerakzeptanz wichtig. Sie stellt auch aus technischer Sicht eine Herausforderung dar.

Im Rahmen von Studien zur Fahrer-Fahrzeug-Interaktion bei automatischer Distanzregelung (ACC) wurden Belastung, Situationsbewusstsein und Stress analysiert. Inzwischen gibt es auch Studien zur Wirkung von ACC in Verbindung mit Spurhalteassistenten. Insgesamt nimmt der Bereich Human Factors innerhalb der Forschung – insbesondere im Vergleich zu technischen Fragestellungen – eine noch eher untergeordnete Rolle ein.¹⁶

Jedoch wird die Schnittstelle zwischen Fahrer und Fahrzeug mit fortschreitender Automatisierung immer wichtiger. Insbesondere ist die Übernahme der Fahraufgabe durch den Menschen innerhalb einer bestimmten Zeit zu unterstützen. Informationen müssen in einer Weise aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden, dass der Mensch Handlungsnotwendigkeiten rasch erkennen kann, es gleichzeitig aber nicht zu einem Übermaß an Information kommt.

Darstellung von Informationen

Wenn automatisierte Funktionen den Menschen entlasten, müssen Informationen der Fahrerassistenzsysteme dem Fahrer geeignet kommuniziert werden. Dabei darf keine Ablenkung erfolgen, die der Automatisierungsstufe nicht angemessen ist. Head-up-Displays streben schon heute eine solche Aufbereitung an. Sie erlauben die Darstellung von Informationen im Blickfeld des Fahrers (siehe Abbildung 10). Die Unaufmerksamkeit, die durch das Ablesen von Anzeigen entsteht, wird minimiert, weil der Fahrer gleichzeitig die Situation auf der Straße beobachten kann.

Head-up-Displays im Fahrzeug sind ein erster Schritt zur sogenannten Augmented Reality. Hierbei wird das gesamte Blickfeld des Fahrers genutzt. Informationen werden dort eingeblendet, wo sie benötigt werden. So erscheint der Richtungspfeil für das Abbiegen dort, wo der Fahrer die abbiegende Fahrspur sieht.



Abbildung 10: Head-up-Display mit Navigation. (Quelle: © Bosch)

¹⁵ Siehe: <http://linklayer.github.io/cantact>

¹⁶ Vgl. Merat, N. et al. (2014).

Kapitel 2

Dazu ist neben dem Display auch entsprechende Sensorik (z. B. Kameras) erforderlich, um die Position von Objekten (also beispielsweise die abbiegende Spur) im Blickfeld des Fahrers zu berechnen.

Entscheidend ist neben der Positionierung der Information im Blickfeld auch ihr Inhalt. So sollten dem Fahrer z. B. solche Informationen übermittelt werden, die sich zum prognostizierten Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer gewinnen lassen.

Übernahme der Fahrfunktionen

Eine besonders kritische und wichtige Schnittstelle ergibt sich bei der Rückführung des Menschen in den Regelkreis, wenn also in Standardsituationen (z. B. auf der Autobahn) die Automatik die Steuerung übernimmt und in schwierigen Fahrsituationen (z. B. Wegfall der Markierung, Verlassen der Autobahn, Fahrbahnverengung) der Fahrer wieder eingreifen muss. Hier wird ein relativ schneller Wechsel zwischen automatisiertem und menschlich gesteuertem Fahren notwendig, obwohl möglicherweise der

Mensch das Fahrzeug nicht ständig aktiv überwacht. Diese Übernahme (siehe Abbildung 11) ist exakt zu definieren und vorzubereiten sowie geeignet zu kommunizieren.

Darüber hinaus muss eine Überwachung des Fahrers bzw. des Übernahmeprozesses installiert sein, die erkennt, ob die Übernahme korrekt funktioniert. Im Notfall, d. h. wenn der Fahrer die Steuerung nicht innerhalb eines vorgegebenen Zeitfensters übernimmt, ist das Fahrzeug in einen sicheren Zustand (Warnblinken, Anhalten z. B. auf Seitenstreifen) zu überführen.

In Versuchen ließ sich zeigen, dass insbesondere bei kurzer Übernahmezeit viele Übernahmefehler auftreten. Damböck et al. (2012) beschreiben einen Versuch mit 32 Probanden, in dem die Übernahme für einen Fahrstreifenwechsel bei einer Fahrbahnverengung notwendig wurde. Als mögliche Fehler definieren sie einen unterlassenen oder zu spät eingeleiteten Fahrstreifenwechsel. Bei einer Übernahmezeit von 4 s lösten 27 der 32 Teilnehmer die Aufgabe nicht korrekt. Waren 8 s für die Übernahme geplant, verfehlte immerhin noch ein Viertel der Probanden das Ziel.

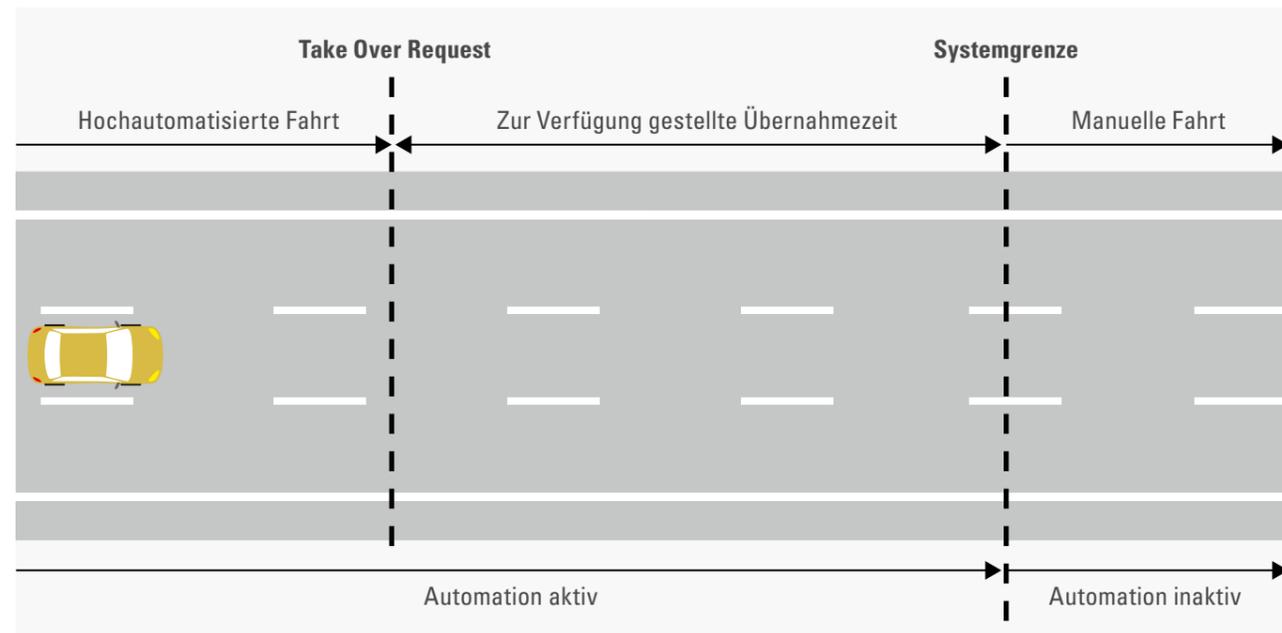


Abbildung 11: Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren. (Quelle: Damböck D. et al. (2012))

In diesem Bereich ist die Forschung weiter voranzutreiben. Innovative Interaktionstechnologien, Systemarchitekturen und Interaktionskonzepte zur Übergabe der Fahraufgabe, insbesondere zur Rückdelegation an den Fahrer, müssen analysiert und entwickelt werden. Dazu sollten auch die Definition der Fahrerrolle und der Passagierrolle sowie die Verteilung von Fahr- und Nebenaufgaben überdacht werden. Darauf aufbauend sind Strategien für Übernahmesituationen zu erforschen und Ansätze für eine übergreifende Mensch-Maschine-Gestaltung abzuleiten, um eine herstellerübergreifend ähnliche Funktion und Bedienbarkeit sicherzustellen.

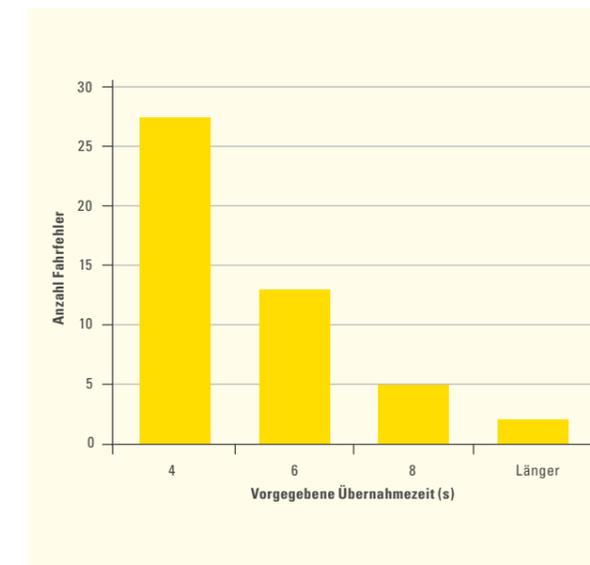


Abbildung 12: Übernahmezeiten an einer Fahrbahnverengung beim hochautomatisierten Fahren. (Quelle: Damböck D. et al. (2012))

Darüber hinaus ist zu erwarten, dass die Übertragung von Aufgaben vom Fahrer zu automatisierten Komponenten voraussichtlich das Fahrverhalten verändern wird, was sich in stärkerer Ablenkung sowie Gewöhnungseffekten ausdrückt. Diese Auswirkungen erschweren zusätzlich die Übernahme der Fahrzeugkontrolle durch den Fahrer in Situationen, in denen die Automatik den Anforderungen nicht mehr gerecht werden kann.

Kernergebnis:

Die Informationsaufbereitung und ihre Darstellung sind die Basis für das Zusammenwirken von Mensch und Fahrzeug. Die Einführung von automatisierten Fahrfunktionen, die die Übernahme der Fahrzeugführung durch den Fahrer erfordern, stellt einen kritischen Zwischenschritt auf dem Weg zur Vollautomatisierung dar, bei dem die Anforderungen an die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug besonders hoch sind.

2.7 SCHRITTWEISER AUSBAU VON AUTOMATISIERUNG UND VERNETZUNG

Die in den Abschnitten 2.2 bis 2.6 betrachteten Technologien finden schon heute Verwendung in diversen Fahrzeugsystemen. Diese lassen sich den von der Bundesanstalt für Straßenwesen definierten Kategorien (A, B und C) zuordnen. Die Kategorie B wird wiederum in Stufen – sogenannte Automatisierungsstufen – unterteilt.

Informierende Systeme (Kategorie A) geben dem Fahrer Hinweise. Ein Beispiel hierfür ist die Schilderererkennung. Der Fahrer wird nur auf Grundlage einer Auswertung von Kamerainformationen über die aktuelle Höchstgeschwindigkeit informiert. Seit langem existieren auch informierende Systeme, die auf Vernetzung des Fahrzeugs mit der Außenwelt basieren. Dazu gehört die Berücksichtigung von Informationen zur Verkehrslage aus RDS-TMC bei der Navigation (siehe Abschnitt 2.5).

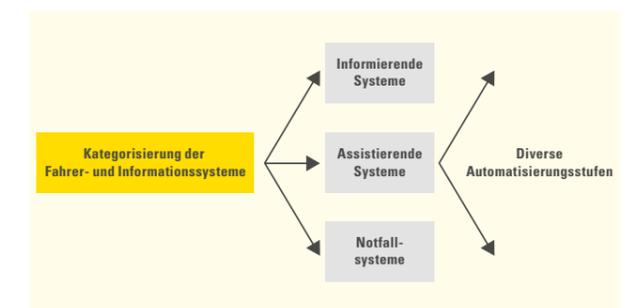


Abbildung 13: Kategorisierung von Fahrerassistenzsystemen. (Eigene Darstellung)

Kapitel 2

Zunehmend erfolgt die Vernetzung mit peripheren Geräten im Fahrzeug, wie z. B. Smartphones. Beispiele dafür sind Apple CarPlay und Android Auto von Google. Diese erlauben die komfortable Bedienung der externen Geräte über die im Fahrzeug integrierten Bedienelemente, dienen aber auch der Einbindung der auf dem externen Gerät vorhandenen Mediensammlungen in das Entertainmentssystem oder zur Bereitstellung von Mehrwertdiensten (siehe Abbildung 14).



Abbildung 14: Smartphone-Nutzung für Mehrwertdienste. (Quelle: © Bosch)

Darüber hinaus bieten die Automobilhersteller auch eigene Lösungen an, z. B. Connected Drive (BMW), Comand Online (Daimler), Audi connect.

Für die Zukunft sind weitere informierende Systeme avisiert, die den Fahrern in zeit- und verkehrssicherheitskritischen Situationen Hinweise geben (z. B. Stauendewarnung).

Assistierende Systeme (Kategorie B) gehen einen Schritt weiter. Sie informieren nicht nur, sondern unterstützen den Fahrer bei seiner Fahraufgabe (Lenken, Bremsen und Beschleunigen). Der heute schon erwerbende Abstandsregeltempomat (ACC) übernimmt

beispielsweise unter Beobachtung des Fahrers die Beschleunigung und das Bremsen. Assistierende Systeme werden in Zukunft im Rahmen der Automatisierung mehr und mehr die Fahraufgabe übernehmen (siehe Abbildung 16 bzw. Abbildung 17).

Notfallsysteme (Kategorie C) schützen den Fahrer durch Eingreifen in sicherheitskritischen Situationen, in denen er selber nicht mehr in der Lage wäre, die Fahraufgabe zu bewältigen. In diese Kategorie gehören z. B. ABS (Antiblockiersystem) und ESC (Electronic Stability Control).

Automatisierungsstufen

Heutige und zukünftige Fahrzeugautomatisierungssysteme gehören grundsätzlich der Kategorie B an. Die Automatisierung erfolgt aber nicht in einem Schritt. Ein stufenweiser evolutionärer Ansatz ermöglicht, dass rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen eingehalten sowie die technischen Herausforderungen in kalkulierbaren Stufen vollzogen werden können.

Entsprechende Automatisierungsstufen definierte die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zusammen mit dem Verband der Automobilindustrie (VDA) im Rahmen einer Arbeitsgruppe „Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung“. Durch die Society of Automotive Engineers (SAE) in den USA wurde in Anlehnung daran und an die Definition der amerikanischen National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) eine Erweiterung entwickelt. Die Ergebnisse sind in einem Dokument, dem „Information Report J3016“¹⁷, zusammengefasst, der international weit verbreitet ist. Der VDA hat seine Definition dahingehend erweitert. Abbildung 15 stellt die wesentlichen Unterschiede der Automatisierungsstufen anhand der Aufgaben des Fahrers bzw. des Systems basierend auf SAE dar.

Grundsätzlich hat der Mensch in den Stufen 0 bis 2 noch die Hauptkontrolle über das Fahrzeug zu leisten.

Erst ab der Stufe 3 muss der Fahrer die Fahraufgaben nicht mehr dauerhaft ausführen und überwachen. Das Fahrzeug selbst übernimmt die Längs- sowie die Querführung. Der Mensch stellt aber zunächst noch eine Rückfallebene dar. Beim hochautomatisierten Fahren ist diese noch wesentlich dadurch geprägt, dass das Fahrzeug bzw. System den Fahrer mit einer gewissen Vorlaufzeit aktiv

Stufen	Funktion Fahrer	Funktion System
0 Keine Automatisierung	Dauerhafte gesamte Fahrzeugführung.	
1 Assistiert	Dauerhaft Quer- oder Längsführung.	Jeweils andere Fahraufgabe wird in gewissen Grenzen vom System ausgeführt.
2 Teil-automatisiert	Dauerhafte Systemüberwachung und dauerhafte Bereitschaft zur Übernahme.	Das System übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Fahrsituationen.
3 Hoch-automatisiert	Keine dauerhafte Systemüberwachung erforderlich. Bei Bedarf Übernahme mit ausreichender Zeitreserve.	Übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spez. Fahrsituationen. Verlängerter Übergabezeitraum
4 Voll-automatisiert	Keine dauerhafte Systemüberwachung erforderlich.	Übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spez. Fahrsituationen. Rückführung in risikominimalen Zustand durch System
5 Fahrerlos		Das System übernimmt Quer- und Längsführung vollständig. Das System ist in allen Situationen in der Lage, das Fahrzeug sicher zu steuern. Das Fahrzeug kommt ganz ohne Fahrer aus.

Abbildung 15: Stufen der Fahrzeugautomatisierung. (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an SAE Information Report J3016 und BASt-Bericht „Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung“)

zur Übernahme auffordern kann. Im Unterschied dazu geschieht dies beim vollautomatisierten Fahren nicht. Hier wird bei nicht lösbaren Aufgaben das System bzw. Fahrzeug in einen risikominimalen Zustand geführt (z. B. Halt auf dem Seitenstreifen). Anschließend muss dann der Fahrer – bzw. eine im Fahrzeug anwesende Person – reagieren, um das Fahrzeug wieder in einen aktiven Modus zu überführen.

In der Stufe 5 kommt das Fahrzeug ganz ohne Fahrer aus. Somit müssen Herausforderungen, die zuvor zu einem risikominimalen Zustand geführt haben, selbständig durch das System aufgelöst werden. Fragen der menschlichen Rückführung in das Regelsystem Fahrzeugführung stellen sich an dieser Stelle nicht mehr.

Infobox: Sonderfall Platooning

Eine Sonderrolle im Kontext der Automatisierung und Vernetzung nimmt das Platooning ein. Hier werden hintereinanderfahrende Fahrzeuge mit einer „elektronischen Deichsel“ gekoppelt, d. h. sie bewegen sich in einem Verband mit sehr geringen Fahrzeugabständen. Im ersten Fahrzeug übernimmt ein Fahrer die Steuerung, die anderen Fahrzeuge folgen automatisiert ohne Fahrereingriff.

Im Rahmen des Forschungsprojekts SARTRE (siehe Abschnitt 3.1) wurden mehr als 10.000 Testkilometer in Kolonnenfahrt zurückgelegt.

¹⁷ Vgl. SAE (2014).

Kapitel 2

Bereits das hochautomatisierte Fahren ist aus rechtlicher Sicht problematisch (vgl. Kapitel 6). Auch die Rückübertragung der Kontrolle an den Fahrer bedarf einer Lösung, wie in Abschnitt 2.6 dargestellt. Besonders diese beiden Hindernisse gilt es, auf dem Weg zu höheren Automatisierungsstufen zu überwinden.

Kernergebnis:

Der Übergang vom teilautomatisierten Fahren (Stufe 2) zum hochautomatisierten Fahren (Stufe 3) ist aus technischer sowie rechtlicher Sicht eine besondere Herausforderung.

Aus den genannten Gründen sind bisher nur Assistenzsysteme bis zur Stufe 2 auf dem Markt verfügbar. Es handelt sich dabei zumeist um Fahrerinformations- bzw. Fahrerassistenzsysteme, die aktiv in die Längs- oder Querführung eingreifen und somit der Stufe 1 zuzuordnen sind. Vereinzelt werden die assistierenden Systeme so kombiniert, dass sie die Quer- und Längsführung übernehmen, was der Stufe 2 entspricht. Der Fahrer muss jedoch die Systeme kontinuierlich überwachen. In Abbildung 16 sind beispielhaft heutige am Markt verfügbare Systeme dargestellt und den Stufen 0 bis 2 zugeordnet.

Stufen	Systeme bzgl. Längsführung	Systeme bzgl. Querführung
0 Keine Automatisierung	FCW Front Collision Warning Auffahrwarnsystem Falls der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug einen kritischen Wert unterschreitet, wird der Fahrer durch ein visuelles oder akustisches Signal bzw. durch einen Ruck/Stoß der Bremse gewarnt.	LDW Lane Departure Warning Spurverlassenswarnung Das Warnsystem beobachtet mittels eines Kamerasystems die Fahrbahnmarkierungen. Wird erkannt, dass das Fahrzeug aus der Spur zu geraten droht, wird der Fahrer über visuelle Anzeigen bzw. durch Vibrationen im Lenkrad oder Fahrersitz gewarnt.
1 Assistiert	ACC, ACC S&G Adaptive Cruise Control Abstandsregeltempomat Der Abstandsregeltempomat übernimmt die Längsführung des Fahrzeugs selbständig. Allgemein regelt das System auf eine vom Fahrer bestimmte Geschwindigkeit und auf die Abstandsinformationen zum Vorderfahrzeug von einem Sensor. Je nach Ausbaustufe erfolgt dies bis zum Stillstand des Fahrzeugs (Stop-and-go).	LKA Lane Keeping Assist Spurhalteassistent Der Spurhalteassistent unterstützt den Fahrer bei der Querlenkung, indem er das Fahrzeug durch Aufschalten von Lenkmomenten in der Fahrspur hält. Das System orientiert sich dabei an der Fahrbahnmarkierung.
2 Teil-automatisiert	Traffic Jam Assist Stauassistent Das System führt das Fahrzeug in Längs- und Querrichtung in einem Abstand zum vorderen Fahrzeug im fließenden Verkehr im niedrigen Geschwindigkeitsbereich. Das System kann als eine Erweiterung des Abstandsregeltempomats mit Stop-and-go-Funktionalität sowie des Spurhalteassistenten betrachtet werden (jedoch ohne Unterstützung eines Fahrstreifenwechsels). Der Fahrer muss das System dauernd überwachen.	

Abbildung 16: Beispiele heutiger Systeme und Zuordnung zu den Automatisierungsstufen 0 bis 2. (Eigene Darstellung)

Systeme der Stufen 3 bis 5 gibt es aktuell für den motorisierten Individualverkehr noch nicht am Markt. Jedoch sind im Rahmen der BAST-Arbeitsgruppe „Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung“ Systeme definiert worden, die zukünftig in gewissen Ausprägungsformen Eingang in den industriellen Entwicklungs- und Erprobungsprozess finden sollen. Diese sind in Abbildung 17 dargestellt und den Stufen 3 bis 5 zugeordnet.

Beteiligte OEMs, Zulieferer und Experten gehen davon aus, dass erste Systeme der Stufe 3, bei denen keine kontinuierliche Überwachung durch den Fahrer erforderlich sein wird, ca. 2020 am

Markt erhältlich sein werden. Vollautomatisierte Fahrzeuge, bei denen der Fahrer durch das System nicht mehr zur Übernahme aufgefordert wird, sind nicht vor 2025 zu erwarten.¹⁸

Stufen	Systeme bzgl. Längsführung	Systeme bzgl. Querführung
3 Hoch-automatisiert	Highway Chauffeur Autobahn-Chauffeur Automatisiertes Fahren bis zu einer Geschwindigkeit von 130 km/h auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen. Das System funktioniert vom Auffahren bis zum Verlassen der Autobahn, auf allen Spuren und beherrscht den Überholvorgang. Der Fahrer muss das System bewusst aktivieren, aber es nicht kontinuierlich überwachen. Der Fahrer kann das System zu jeder Zeit übersteuern oder abschalten. Das System kann den Fahrer auffordern, das System innerhalb einer gewissen Zeitspanne zu übernehmen, wenn das automatisierte System an seine Grenzen stößt. Spätere Versionen der Funktionalität können auch die Spurwechsel- und die Überholfunktion beinhalten.	
4 Voll-automatisiert	Highway Pilot Autobahn-Pilot Automatisiertes Fahren bis zu einer Geschwindigkeit von 130 km/h auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen vom Auffahren bis zum Verlassen der Straße, Überholvorgänge und Spurwechsel sind eingeschlossen. Der Fahrer muss das System ganz bewusst aktivieren, muss es jedoch nicht dauernd überwachen. Der Fahrer kann das System zu jeder Zeit übersteuern und auch ganz abschalten. Es gibt keine Übernahmeanfrage vom System an den Fahrer. Abhängig von der Ausbreitung von kooperativen Systemen können auch kurzfristig Konvois gebildet werden, wenn die V2V-Kommunikation zur Verfügung steht.	
5 Fahrerlos	Fully Automated Vehicle Vollautomatisierte Fahrzeuge Ein vollautomatisiertes Fahrzeug ist in der Lage, selbständig von Punkt A nach Punkt B zu fahren ohne jede Unterstützung vom Fahrgast. Der Fahrgast kann zu jeder Zeit das System übersteuern oder auch abschalten.	

Abbildung 17: Beispiele zukünftiger Systeme und Zuordnung zu den Automatisierungsstufen 3 bis 5. (Eigene Darstellung. Anmerkung: Stufen in Anlehnung an die Beispiele des BAST-Berichts „Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung“.)

¹⁸ Vgl. Daimler (2014).

Infobox:
„Autonomes Fahren“ vs. „Automatisiertes Fahren“

Die Begrifflichkeiten „Autonomes Fahren“ und „Automatisiertes Fahren“ werden oft allgemein für die gleiche Thematik verwendet.

Das Wort „autonom“ steht für Unabhängigkeit. Das ist mit Bezug auf die Automatisierungsstufen ab der 4. Stufe (Vollautomatisierung) gegeben, ab der das Fahrzeug die Fahrzeugführung ohne Eingriff des Menschen realisiert. Allerdings wird der Begriff in den Medien auch schon auf die niedrigeren Stufen angewendet. Fahrten, bei denen der Fahrer nicht eingreift, sondern nur überwacht, werden häufig als autonome Fahrten bezeichnet.

Würden bei der Vollautomatisierung noch Daten von externer Seite zur Steuerung des Fahrzeugs herangezogen, so

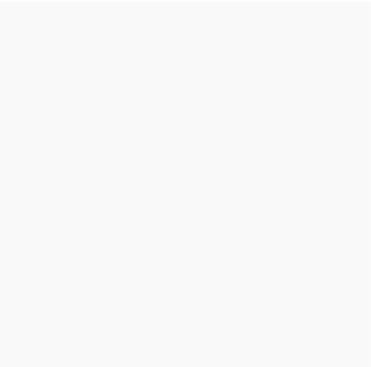
wäre dies streng genommen nicht mehr autonom. Dennoch wird der Begriff auch für automatisierte und vernetzte Fahrten genutzt, da er im Kontext automatisiertes Fahren allgemein auf die Aufgabe des Menschen bezogen wird.

Eine Zuordnung der verfügbaren und avisierten Fahrerassistenzsysteme zu den Technologien Automatisierung und Vernetzung zeigt deren wachsende Verknüpfung (siehe Abbildung 18).

Kernergebnis:
 Vernetzung und Automatisierung können als selbständige Technologiebereiche voneinander unabhängig existieren. Ihre Verknüpfung führt aber zu intelligenteren Lösungen. Die beiden Bereiche wachsen in Zukunft immer weiter zusammen.

	Fahrzeugvernetzung	Automatisiertes Fahren
Funktion aus Anwenderperspektive • Produkte	Informierende Systeme <ul style="list-style-type: none"> • Verkehrssituation (RDS-TMC) • Verkehrslage (TPEG) • Mehrwertdienste (Mobilfunk) 	Informierende Systeme <ul style="list-style-type: none"> • Auffahrwarnsystem (FCW) • Spurverlassenswarnung (LDW)
	Assistierende Systeme <ul style="list-style-type: none"> • Ampelassistent • Kreuzungsassistent 	Assistierende Systeme <ul style="list-style-type: none"> • Abstandsregeltempomat ACC • Spurhalteassistent LKA
	<ul style="list-style-type: none"> • Koop. Einfädelassistent • Koop. Abstandsregeltempomat 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Koop. Stauassistent 	Teilautomatisierte Systeme <ul style="list-style-type: none"> • Stauassistent <p><i>Heute schon im Markt</i></p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Koop. Autobahn-Chauffeur • Platooning 	Hochautomatisierte Systeme <ul style="list-style-type: none"> • Autobahn-Chauffeur <p><i>In der Entwicklung/ Prototyp/Demonstration</i></p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Koop. Autobahn-Pilot 	Vollautomatisierte Systeme <ul style="list-style-type: none"> • Autobahn-Pilot

Abbildung 18: Beispiele für Fahrzeugsysteme zur Automatisierung und Vernetzung. (Eigene Darstellung)



FORSCHUNG FÜR DIE ZUKUNFT

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen technischen Herausforderungen des vernetzten und automatisierten Fahrens finden ihren Niederschlag in den Forschungsaktivitäten von Industrie und Wissenschaft. Abschnitt 3.1 nennt einige der wichtigsten Forschungsprojekte und ihre thematischen Schwerpunkte. Im Anschluss werden in den Abschnitten 3.2 und 3.3 exemplarisch Testfahrten und Testgebiete sowie Forschungsfahrzeuge dargestellt.

3.1 AUSGEWÄHLTE FORSCHUNGSPROJEKTE

Erste Arbeiten zum automatisierten Fahren erfolgten auf nationaler Ebene schon in Forschungsprojekten der 1980er Jahre, in denen erste automatisierte Fahrzeugfunktionen und selbstfahrende Fahrzeuge demonstriert wurden. Hier sind zum einen die Arbeiten der Universität der Bundeswehr mit den Fahrzeugen VaMoRs und VaMP und zum anderen das EUREKA-Projekt PROMETHEUS zu nennen. In dazu nachgelagerten Forschungsprojekten (u. a. AKTIV) lag der Schwerpunkt auf der Erforschung und Entwicklung von assistierenden Systemen, die mittlerweile am Markt verfügbar sind (z. B. der Abstandsregeltempomat).

Im Bereich der Fahrzeugvernetzung reichen die geförderten Forschungsaktivitäten noch länger zurück. Erste umfangreichere Bemühungen zeigten sich in den 1970er Jahren. Die Kommunikation fand zunächst unidirektional statt, d. h. Informationen von außerhalb des Fahrzeugs wurden im Fahrzeug empfangen. Die Möglichkeit, Informationen auch aus dem Fahrzeug heraus zu versenden, eröffnete sich erst mit dem Aufkommen neuer Übertragungstechnologien wie Mobilfunk und WLAN. Heute bieten einige Automobilhersteller Mehrwertdienste über Mobilfunk an. Den nächsten Evolutionsschritt stellt die Vernetzung im Kleinräumigen dar, d. h. die Vernetzung von Fahrzeugen untereinander (C2C) bzw. von Fahrzeugen mit der Infrastruktur (C2I). Hier gab es in der jüngeren Vergangenheit einige Forschungsprojekte, deren Ergebnisse nun den Weg in die Serie finden.

Im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens wurden und werden eine Vielzahl von Forschungs- und Entwicklungsprojekten national sowie international durchgeführt. Große Bedeutung haben dabei öffentlich geförderte Verbundprojekte, da immer komplexer werdende Fragestellungen – z. B. im Bereich der

Standardisierung von Schnittstellen beim kooperativen Fahren – nicht nur die Einbindung interdisziplinärer Know-how-Träger verlangen, sondern einen von möglichst vielen Forschungsnehmern getragenen Ansatz.

Die folgende Tabelle zeigt eine Auswahl an Forschungsprojekten, die sich mit den Thematiken auseinandergesetzt haben bzw. gegenwärtig auseinandersetzen. In den anschließenden Abschnitten werden die Schwerpunkte dieser Forschungsprojekte skizziert, wobei die Darstellung aufgrund des Umfangs auf nationale und europäische Projekte beschränkt wurde. Vollständigkeitshalber sei darauf hingewiesen, dass auch in den USA und in Japan umfassende Anstrengungen getätigt werden, um Antworten auf aktuelle Forschungsfragen wie z. B. zur Robustheit von Kommunikationstechnologien geben zu können. Beispielhaft ist das Projekt Safety Pilot als eine Initiative der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) hier aufgeführt, das 2012 mit einem großen Feldversuch zum vernetzten Fahren in realer Umgebung gestartet ist.

Das EU-Projekt AdaptlVe (Automated Driving Applications and Technologies for Intelligent Vehicles) hat zum Ziel, die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeugsystem zu optimieren. In dem Projekt wird mittels verbesserter Sensoren, kooperativer Fahrzeugtechnologien und adaptiver Algorithmen der Grad der Fahrzeugautomation abhängig von der jeweiligen Situation bestmöglich bestimmt. Zudem werden im Projekt die gesetzlichen Rahmenbedingungen für Fahrzeughersteller und Fahrer analysiert. Unter anderem soll ein „Code of Practice“ für hochautomatisierte Fahrzeuge in Bezug auf Produkthaftung und Straßenverkehrsvorschriften vorbereitet werden. Schließlich wird auch hochautomatisiertes Fahren in ausgewählten Szenarien (z. B. Staufolgefahrten) demonstriert. AdaptlVe legt auf europäischer Ebene eine Grundlage für das hochautomatisierte Fahren nicht nur aus technologischer, sondern auch aus regulatorischer Sicht.

Inhalt des Projektes aFAS (Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen) sind der Aufbau und die Umsetzung eines automatischen Absperrfahrzeugs für Autobahnbaustellen und seine Erprobung im laufenden Straßenverkehr. Das Fahrzeug folgt hierbei fahrerlos einem Arbeitsfahrzeug auf dem Seitenstreifen. Da der Betrieb eines

Akronym Förderprojekt	Thematischer Schwerpunkt		Laufzeit	Fördergeber	Projektpartner aus BW	Internetauftritt
	Vernetzung	Automatisierung				
AdaptlVe		x	2014–2017	EU-Kommission	- Daimler - Bosch	http://www.adaptive-ip.eu/
aFAS		x	2014–2018	BMWi	- HTW Karlsruhe	-
AKTIV		x	2006–2010	BMWi	- Daimler - Bosch - PTV	http://www.aktiv-online.org
AutoNet 2030	x	x	2013–2016	EU-Kommission	-	http://www.autonet2030.eu/
COMPANION	x		2013–2016	EU-Kommission	-	http://www.companion-project.eu/
CONVERGE	x		2012–2015	BMWi	- Bosch - PTV	http://www.converge-online.org/
DRIVE C2X	x		2011–2014	EU-Kommission	- Daimler - Bosch - PTV - KIT - Vector	http://www.drive-c2x.eu/
HAVEit		x	2008–2011	EU-Kommission	- EXPLINOVO - Uni Stuttgart	http://www.haveit-eu.org
interactlVe		x	2009–2013	EU-Kommission	- Daimler	http://www.interactive-ip.eu/
Ko-FAS	x	x	2009–2013	BMWi	- Daimler - Uni Ulm - KIT - Steinbeis Zentrum	http://www.kofas.de/
Ko-HAF	x	x	2015–2018	BMWi	- Daimler - Bosch - Visteon	-
KONVOI		x	2005–2009	BMWi	-	-
SARTRE	x	x	2009–2012	EU-Kommission	-	http://www.sartre-project.eu
simTD	x		2008–2013	BMWi, BMBF	- Daimler - Bosch	http://www.simtd.org
UR:BAN		x	2012–2016	BMWi	- Daimler - Bosch - PTV	http://urban-online.org

Tabelle 5: Überblick ausgewählter relevanter nationaler und europäischer Forschungsprojekte. (Quelle: Eigene Darstellung)

Kapitel 3

automatisierten Fahrzeugs im öffentlichen Verkehr mit hohen Sicherheitsrisiken verbunden ist, nimmt die Frage nach einem geeigneten Nachweis des funktional sicheren Betriebs des Fahrzeugs eine besondere Rolle ein. aFAS beschäftigt sich in dieser speziellen Anwendung als eines der wenigen Projekte schon mit der höchsten Automatisierungsstufe im Straßenverkehr. Deshalb lassen sich die Fragen zur funktionalen Sicherheit hier an einem praktischen Beispiel thematisieren. Die Ergebnisse können so eine Basis für die zukünftige Zulassung von vollautomatisierten Fahrzeugen schaffen.

Die Forschungsinitiative AKTIV (Adaptive und Kooperative Technologien für den Intelligenten Verkehr) gliedert sich in die drei Forschungsprojekte Aktive Sicherheit (AS), Verkehrsmanagement (VM) und Cooperative Cars (CoCar). Das Teilprojekt AS adressiert Fragestellungen im Bereich Fahrerassistenz (z. B. Funktion zur Gefahrenbremsung sowie aktive Querführung). Die Ergebnisse bilden eine Basis für weitere teil- und hochautomatisierte Systeme, die heute zum Teil schon am Markt verfügbar sind. Im Teilprojekt VM wurden u. a. Lösungen zur kooperativen Verkehrsbeeinflussung und zu vernetzten Lichtsignalanlagen erarbeitet. Im Projekt CoCar wurden grundlegende Untersuchungen zur Nutzung von Mobilfunk im Bereich Fahrzeugkommunikation durchgeführt. Ein Ergebnis war, dass die Kombination von Mobilfunk mit Nahbereichsfunktechniken die damaligen Anforderungen der gesamten Anwendungsmöglichkeiten von Infotainment bis hin zu besonders zeitkritischen Fahrerassistenzfunktionen abdeckt. Neben bestehenden breitbandigen Mobilfunkverbindungen eignen sich vor allem LTE-Mobilfunknetze für diese Anwendungen.

Das EU-Projekt AutoNet2030 (Co-operative Systems in Support of Networked Automated Driving by 2030) hat zum Ziel, Prozeduren und Algorithmen für die Entscheidungsfindung kooperativer Fahrzeuge, die sich in unmittelbarer Nähe zueinander befinden, zu entwickeln und zu erproben. Es ist geplant, die Technologie auch für nichtautomatisierte Fahrzeuge über eine im Projekt validierte Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Verfügung zu stellen. Unter Berücksichtigung der erwarteten Einführungszeiträume für kooperative Kommunikationssysteme (C2X) sowie sensorbasierte Spurhalte- und Kreuzungsassistenten geht das Projekt von einer Marktreife der Technologie zwischen 2020 und 2030 aus.

Vor diesem Hintergrund wird eine Strategie zur koordinierten Einführung kooperativer Projekttechnologien und vollautomatisierter Fahrfunktionen entwickelt.

Das EU-Projekt COMPANION (Cooperative dynamic formation of platoons for safe and energy-optimized goods transportation) beschäftigt sich wie auch die Projekte KONVOI und SARTRE mit der Thematik der Kolonnenfahrt (Platooning). Im Unterschied zu den beiden früheren Forschungsvorhaben verfolgt COMPANION jedoch nicht den Ansatz der elektronischen Kopplung, es wird stattdessen ein Echtzeitsystem zur Erstellung, Koordination und für den Betrieb der Kolonnen entwickelt. Es sollen u. a. Logistikdaten, Verkehrsdaten und Wetterinformationen herangezogen werden, um optimale Konstellationen von Fahrzeugzügen dynamisch zu realisieren. Die einzelnen Fahrzeuge müssen dabei nicht das gleiche Ziel haben. Die dazu notwendige neue Mensch-Maschine-Schnittstelle ist ebenfalls ein Forschungsschwerpunkt des Projektes.

CONVERGE (COmmunication Network Vehicle Road Global Extension) führt die in vorherigen Forschungsprojekten (u. a. simTD) erarbeiteten Ansätze von Fahrzeugkommunikationslösungen (C2X) zu einem Gesamtsystem mit einem dezentralen und betreiberlosen Kommunikationsmodell zusammen. Die Entwicklung einer Systemarchitektur, unter Berücksichtigung der Kommunikationskanäle WLAN und Mobilfunk, ist ein wesentliches Ergebnis des Projektes (siehe Abbildung 19). Die Ergebnisse legen einen bedeutenden Grundstein für die zukünftige kooperative Kommunikation und darauf basierende Systeme, insbesondere da Wissenschaftler aus Schweden und den USA derzeit diskutieren, Teile der entwickelten Architektur zu adaptieren.

Das EU-Projekt DRIVE C2X testete kooperative Systeme in Zusammenarbeit mit nationalen Feldtestprojekten an sieben Standorten in Europa. Auf Basis der Ergebnisse wurden ein europäisches C2X-System konzipiert, Geschäftsmodelle beschrieben und Einführungsstrategien erstellt. Zudem flossen aus simTD wesentliche Ergebnisse mit ein, die für zukünftige Aktivitäten im Bereich Fahrzeugvernetzung und -kommunikation verwendet werden.

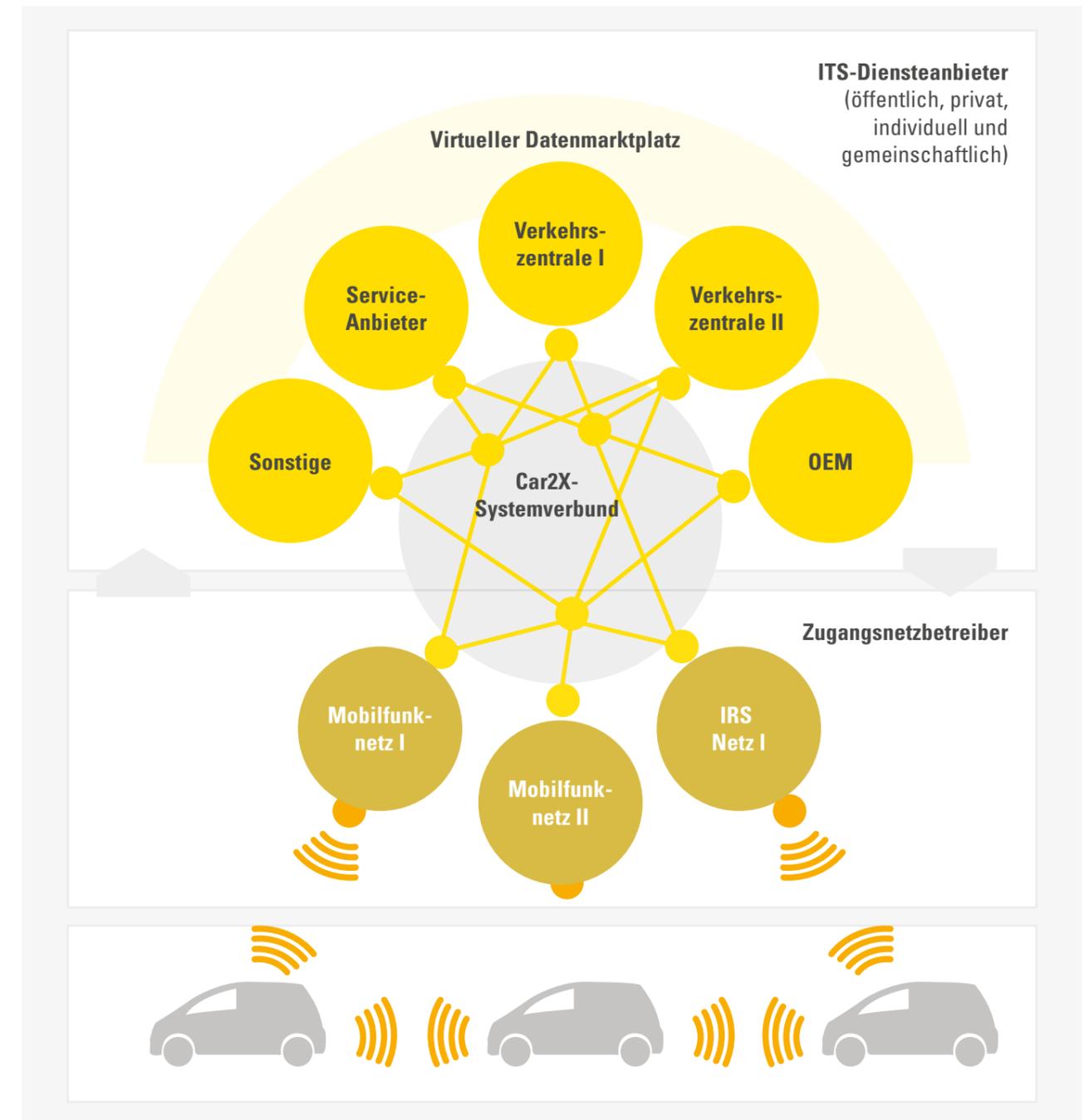


Abbildung 19: Akteure im C2X-Systemverbund. (Quelle: Projekt CONVERGE, www.converge-online.de (2015))

Kapitel 3

Das EU-Forschungsprojekt HAVEit (Highly Automated Vehicles for Intelligent Transport) befasst sich mit der Entwicklung von Konzepten und Technologien zum hochautomatisierten Fahren. Es wurden erstmals Hands-off-Systeme erforscht. Der Schwerpunkt auf der Funktionsseite lag auf Fahrerassistenzsystemen in Baustellen und bei Verkehrsstörungen, Stauassistenzsystemen sowie einem Autopiloten (zeitlich begrenzt). Wichtige Querschnittsthemen betrafen die Fahrerüberwachung sowie die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstellen. Wesentliche Ergebnisse finden in Entwicklungen automatischer Fahrfunktionen der Stufe 2 Berücksichtigung.

Das EU-Projekt interactiVe (Accident avoidance by active intervention for Intelligent Vehicles) hat Assistenzsysteme für eine sicherere und effizientere Fahrweise entwickelt. Die daraus hervorgegangenen Sicherheitssysteme sollen den Fahrer kontinuierlich unterstützen, u. a. durch Warnungen in potenziell gefährlichen Situationen sowie durch direkte Brems- und Lenkeingriffe. Zum Testen und Bewerten der Technologie sind insgesamt sieben Demonstrationsfahrzeuge, davon ein Lkw, mit den entwickelten Systemen ausgestattet worden. Das Forschungsvorhaben hat somit auf EU-Ebene einen Beitrag zur Weiterentwicklung von Automatisierungstechnologien der Stufen 1 und 2 geleistet. Die Ergebnisse werden u. a. unmittelbar im Folgeprojekt AdaptiVe weiterverwendet.

Die Ko-FAS-Initiative hat technologische Antworten auf Fragestellungen im Hinblick auf die Vision einer unfallfreien Mobilität erarbeitet und somit Beiträge zur Steigerung der Sicherheit im



Abbildung 20: Technikdemonstration neuer Testverfahren für Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Notausweichen bei kreuzendem Verkehr. (Quelle: KO-FAS, www.ko-fas.de (2015))

Straßenverkehr geliefert (siehe Abbildung 20). Ko-FAS bestand insgesamt aus den drei Projektverbänden Ko-TAG, Ko-KOMP und Ko-PER. In Ko-TAG wurden kooperative Sensorsysteme für den Fußgängerschutz als Basis für ein grundsätzlich neues kooperatives Sicherheitssystem im Straßenverkehr geschaffen. Ko-PER entwickelte Fahrerassistenz- und präventive Sicherheitssysteme, die insbesondere auf kooperativer Perzeption basieren. Hierfür wurden im Rahmen des Vorhabens u. a. ein neuralgischer Verkehrsknoten mit infrastrukturbasierter Sensorik aufgebaut und Fahrzeuge technisch ausgerüstet. Das Projekt adressierte Schlüsselfragen zukünftiger automobiler Sicherheitssysteme. Viele Ergebnisse führen zu Produktverbesserungen, beispielsweise beim präventiven Fußgängerschutz, bei der Sensordatenfusion, der automobilen Bildverarbeitung und beim Entwurf sicherheitskritischer Fahrzeugelektronik. Ko-KOMP hat Komponenten und Werkzeuge erarbeitet, die für eine spätere Umsetzung der Ko-FAS-Systeme und -Applikationen in Fahrzeugen anderer Klassen nutzbar sind und somit die Marktdurchdringung erleichtern.

Ziel der Forschungsinitiative Ko-HAF (Kooperatives, hochautomatisiertes Fahren) ist die Entwicklung von automatisierten und kooperativen Fahrfunktionen für höhere Geschwindigkeitsbereiche (bis 130 km/h) auf gut ausgebauter Verkehrsinfrastruktur. Hierzu muss neben der Automatisierung der Längs- und Querverführung der Fahrzeuge auch die Vorausschau für die Umfelderkennung deutlich verbessert werden. Basis dafür ist die Entwicklung einer in Echtzeit aktualisierbaren, hochgenauen, digitalen Karte, die mittels einer kooperativen Backendlösung (Safety Server) zur Verfügung gestellt wird. Da sich der Fahrer beim hochautomatisierten Fahren nicht gänzlich aus dem Regelkreis nehmen lässt, wird in Ko-HAF ebenfalls die Rückübernahme der Fahraufgabe durch den Menschen innerhalb einer gewissen Zeitreserve erforscht. Zur Erprobung und Darstellung des hochautomatisierten Fahrens werden neben virtuellen Versuchen mehrere Versuchsfahrzeuge aufgebaut. Der Einsatz des neuartigen Fahrbetriebs soll auf Testgeländen und im öffentlichen Straßenverkehr erfolgen.

Im Projekt KONVOI ist ein System entwickelt worden, das es ermöglicht, bis zu vier Lkw elektronisch aneinanderzukoppeln. Dabei wurde die Längs- und Querverführung der nachfolgenden Lkw durch das KONVOI-System übernommen. Mittels einer Kombina-

tion verschiedener Sensoren sowie der Verwendung einer Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation ließ sich die automatisierte Fahrgefahrt umsetzen. Zudem sind mit Hilfe von realen und virtuellen Fahrversuchen die Auswirkungen und Effekte von elektronisch gekoppelten Lkw-Konvois auf den Verkehr untersucht worden, indem die vier Versuchsträger in einem realitätsnahen Versuchsbetrieb getestet und eingesetzt wurden. Das Projekt hat so schon zu einem frühen Zeitpunkt wesentliche Erkenntnisse zum Thema Fahrgefahrt (Platooning) geliefert.

Das US-amerikanische Projekt Safety Pilot ist weltweit der größte Feldversuch zur Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation (V2V). Über 3.000 Pkw von Privatpersonen erhielten das dazu erforderliche technische Equipment. Zusätzlich wurden ca. 20 Anlagen mit Kommunikationseinheiten ausgerüstet, so dass auch eine Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation (V2I) möglich ist. Die Technologie unterstützt ähnlich wie bei simTD unterschiedlichste Funktionalitäten. Das Projekt wird auf Initiative der US-amerikanischen National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) durchgeführt und soll zukünftig durch Ergänzung weiterer Fahrzeuge ausgebaut werden.

Im EU-Projekt SARTRE (Safe Road Trains for the Environment) entstand ähnlich wie in KONVOI ein System, das die elektronische Kolonnenfahrt (Platooning) gestattet. Erprobt wurde es mit zwei bis fünf Fahrzeugen auf Autobahnen in Schweden und Spanien. Im Gegensatz zu KONVOI war in SARTRE nur das erste Fahrzeug ein Lkw; bei den folgenden handelte es sich um Pkw. Das Projekt konnte wie KONVOI belegen, dass eine technische Realisierung der Kolonnenfahrt möglich ist und Einsparungseffekte bzgl. des Kraftstoffverbrauchs vorhanden sind.

Im Vorhaben simTD (Sichere und Intelligente Mobilität – Testfeld Deutschland) wurden bestehende technische Standards für die Funkkommunikation (lokale Ad-hoc-Kommunikation (WLAN) und Mobilfunk) derart weiterentwickelt, dass sich in einem großräumigen Testfeld im Rhein-Main-Gebiet sicherheitsrelevante Informationen sowie Informationen zur aktuellen groß- und kleinräumigen Verkehrssituation zwischen einer Vielzahl von Fahrzeugen und Infrastrukturen austauschen lassen. Ziel war es, sowohl die Sicherheit als auch den Verkehrsfluss im Straßenverkehr durch die Vernetzung von Fahrzeugen und Infrastruktur zu verbessern.

Der Feldversuch hat gezeigt, dass die Funktionen und das dafür aufgebaute C2X-Kommunikationssystem unter Alltagsbedingungen technisch stabil funktionieren und wirken. Unter anderem konnte gezeigt werden, dass C2X-Kommunikationssysteme den Fahrer in kritischen und unüberschaubaren Situationen unterstützen können. Wesentliche Erkenntnisse zur C2X-Kommunikation wurden aus dem Projekt in die internationale Standardisierung eingebracht. Am Ende der Laufzeit stand das simTD Konsortium vor der Aufgabe, ein geeignetes Betreibermodell für ein derartiges System zu finden, das sowohl in Wertschöpfungsketten auf Seiten der Industrie (Verkehrsinformationen) als auch in die Aufgabenträgerschaft auf Seiten der öffentlichen Hand (Verkehrssteuerung) eingreift. Auf dieser Grundlage entstand das Projekt Cooperative ITS Corridor (vgl. Abschnitt 3.2). Zudem einigten sich die Automobilhersteller in einem Memorandum of Understanding auf die Einführung der Technologie. Die Projektergebnisse bilden eine Basis für zukünftige Weiterentwicklungen und Nutzungen von kooperativer Kommunikation im Bereich Automotive.

Die Forschungsinitiative UR:BAN (Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement) besteht wie das Vorgängerprojekt AKTIV aus drei Teilprojekten: Kognitive Assistenz (KA), Vernetztes Verkehrssystem (VV) und Mensch im Verkehr (MV). Die drei Forschungsvorhaben verfolgen das gemeinsame Ziel, Fahrerassistenz- und Verkehrsmanagementsysteme für die Stadt zu entwickeln. Entwicklungsschwerpunkt im Projekt KA bilden u. a. Fahrerassistenzsysteme speziell zur Erkennung und zum Schutz der schwächeren Verkehrsteilnehmer (siehe Abbildung 21). Die Untersuchungen zum menschlichen Verhalten in bestimmten Verkehrssituationen im Rahmen des Projektes MV werden insbesondere für die Automatisierungsstufen 3 und 4 eine Basis für zukünftige fahrerorientierte Anzeige-, Warn- und Informationskonzepte schaffen. Im Projekt VV geht es um die Optimierung des Verkehrsflusses in der Stadt. Die zu erarbeitenden Strategien dienen als Basis automatisierter Verkehrsführung in der Stadt.



Abbildung 21: Demonstration der Erkennung und Darstellung von schwächeren Verkehrsteilnehmern. (Quelle: Projekt UR:BAN, www.urban-online.org (2015))

Kernergebnis:

Vernetztes und automatisiertes Fahren sind Technologien mit hoher Komplexität. Dies sowie die Einbindung in Systemzusammenhänge erfordern die Zusammenarbeit unterschiedlicher wissenschaftlicher und technischer Disziplinen. Die Verbundforschung bietet die Möglichkeit, mit einer solchen Zusammenarbeit einen technischen Vorsprung zu erlangen und schnell vernetzte und automatisierte Fahrzeuge, passende Komponenten und die dazugehörigen Dienste auf den Markt zu bringen. Die Beteiligung verschiedenster Branchen bietet die Chance, eine breite, konsensfähige Basis für eine Standardisierung zu schaffen. Nicht zuletzt begünstigt die öffentliche Förderung eine frühzeitige Auseinandersetzung der Wirtschaft mit zukunftssträchtigen Technologien.

3.2 TESTFAHRTEN UND TESTGEBIETE

Testfahrten werden je nach Anwendung und Reifegrad in abgeschlossenen Testgeländen, in ausgewiesenen Gebieten im öffentlichen Verkehrsraum oder frei im öffentlichen Verkehrsraum durchgeführt. Dabei stehen unterschiedliche Streckentypen für Testzwecke zur Verfügung:

- Autobahnabschnitte
- Straßen im ländlichen Raum
- innerstädtische Straßen mit komplexen Verkehrssituationen

Freies Fahren im öffentlichen Verkehrsraum

Mit speziellen Genehmigungen und unter der Maßgabe, dass ein Fahrer im Notfall jederzeit die Steuerung übernehmen kann, sind auch in Deutschland vollautomatisierte Testfahrten im öffentlichen Verkehrsraum möglich und finden auch schon seit langem statt. Bereits 1994 wurde beispielsweise im Rahmen des Projektes PROMETHEUS (siehe Abschnitt 3.1) eine ca. 1.000 km lange autonome Fahrt auf der Autobahn mit Geschwindigkeiten von bis zu 130 km/h durchgeführt.

In der jüngeren Vergangenheit wurde dem Thema in Deutschland und auch international ein breiter Raum gewährt. Medienwirksam führen OEMs, aber auch andere Unternehmen hochautomatisierte Fahrten durch. Sie nutzen zur Steuerung neben Informationen der Fahrzeugsensorik meist speziell aufbereitetes, detailliertes Kartenmaterial. Einige Beispiele aus der letzten Zeit sind im Folgenden aufgelistet:

- Die automatisiert fahrende Google-Flotte hat bis Mitte 2015 ca. 2,5 Mio. Kilometer zurückgelegt.¹⁹ Dabei wurde allerdings unter günstigen Wetterbedingungen ein eingeschränktes Gebiet befahren, für das genügend genaues Kartenmaterial zur Verfügung steht.
- In Baden-Württemberg befuhr schon 2013 Mercedes-Benz die historische Bertha-Benz-Route von Mannheim bis Pforzheim, ohne dass ein Fahrereingriff notwendig war.²⁰
- Die Testfahrt eines Fahrzeugs von Audi führte in zwei Tagesetappen über 550 Meilen vom Silicon Valley zur Consumer Electronics Show (CES) 2015 in Las Vegas (siehe Abbildung 22). Auf der CES Asia fuhr Audi im Mai 2015 autonom durch Shanghai.²¹

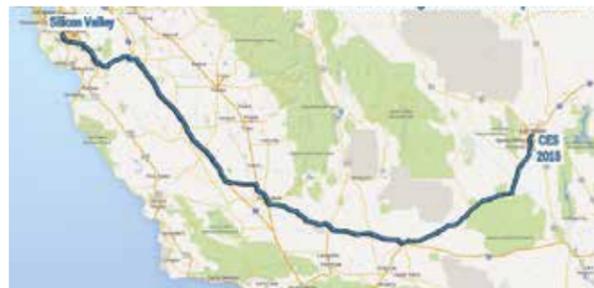


Abbildung 22: Route der Audi-Fahrt zur CES. (Quelle: robotictrends.com (2015))

»Wo ein menschlicher Fahrer beherzt in die Lücke vorstoßen würde, verhält sich unser autonomes Fahrzeug eher zurückhaltend. Das führt dann schon manchmal zu komischen Situationen, etwa wenn das Fahrzeug an einem Fußgängerüberweg anhält, uns die Passanten aber signalisieren zu fahren – und unser Auto stoisch weiter wartet, weil wir bei der Programmierung nicht mit so viel Höflichkeit gerechnet haben.«

Ralf Guido Herrtwich,
Leiter Fahrerassistenz- und Fahrwerksysteme in der Konzernforschung und Vorentwicklung bei Daimler²²

Auch der deutsche Verkehrsminister Alexander Dobrindt testete schon das Fahren ohne Fahrereingriff. Er ließ sich automatisiert mit bis zu 130 km/h über die Bundesautobahn A 9 chauffieren.²³

Die Tests im öffentlichen Raum werden weiter zunehmen. So erhielt beispielsweise die Firma DELPHI die Erlaubnis, automatisiertes Fahren auf einer Landstraße bei Wuppertal zu erproben.²⁴ In Sachsen erprobt das Unternehmen IAV automatisiertes Fahren auf der Autobahn.²⁵

»Mitunter verhielt sich das Auto wie ein ängstlicher Fahrschüler. In Ladenburg bei Mannheim kamen wir in einer einspurigen Straße mit Gegenverkehr lange nicht aus der Lücke heraus, weil der Wagen alle entgegenkommenden Fahrzeuge vorbeiließ.«

Julius Ziegler,
Institut für Mess- und Regelungstechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)²⁶

Fahrversuche im öffentlichen Verkehrsraum sind wichtig zur Vorbereitung des automatisierten Verkehrs. Aber diese Tests decken nicht das gesamte notwendige Spektrum ab. Insbesondere die Infrastruktur zur Kommunikation mit Fahrzeugen lässt

sich nicht kurzfristig flächendeckend aufbauen. Spezielle Testmöglichkeiten müssen zur Verfügung stehen, um die Entwicklung voranzutreiben.

Testen in ausgewiesenen Testgebieten

In nichtöffentlichen Testgebieten lassen sich Neuerungen erproben, bevor sie sicher genug für den öffentlichen Verkehrsraum sind. Entsprechend können diese Strecken oder Gebiete auch mit neuer infrastrukturseitiger Technik ausgerüstet werden, deren Einsatz im öffentlichen Raum noch nicht vorgesehen ist.

Örtlich begrenzte Testgebiete oder Teststrecken im öffentlichen Verkehrsraum dienen dagegen der Erprobung bereits weitgehend ausgereifter Technologie unter realen Verkehrsbedingungen. Durch die räumliche Begrenzung bleiben die Kosten für Aufbau und Betrieb der notwendigen Infrastruktur in einem vertretbaren Rahmen, und es müssen nicht sämtliche verkehrlichen und baulichen Besonderheiten berücksichtigt werden, die im Verkehrssystem auftreten können. Dabei können auch verschiedene Technologien für ähnliche Aufgaben zum Einsatz kommen, um Best Practices für die spätere Verbreitung zu identifizieren.

Aktivitäten zum Aufbau und zur Nutzung von Testgebieten oder -strecken finden sich sowohl im internationalen als auch im nationalen Bereich.

Beispielsweise entsteht in Michigan in den USA ein zwölf Hektar großes Erprobungsfeld als Nachbildung einer ganzen Stadt (siehe Abbildung 23).²⁷ Dabei sollen sogar mechanische Radfahrer und Fußgängerattrappen zum Einsatz kommen.

Der Betrieb einer 1.300 km langen, europäischen Korridor-Versuchsstrecke (Cooperative ITS Corridor) für vernetztes Fahren ist für 2015 avisiert.²⁸ Dieser Korridor erstreckt sich von den Niederlanden (Rotterdam) über Deutschland (Großraum Frankfurt am Main) bis nach Österreich (Wien).

¹⁹ autonomes-fahren.de (2015a).

²⁰ stuttgarter-zeitung.de (2013).

²¹ autogazette.de (2015) sowie tagesspiegel.de (2015).

²² Vgl. Mercedes (2013c).

²³ golem.de (2015b).

²⁴ wirtschaftswoche.de (2015b).

²⁵ IAV (2015).

²⁶ Vgl. bild-der-wissenschaft.de (2014).

²⁷ heise.de (2015b).

²⁸ BMVI (2015).

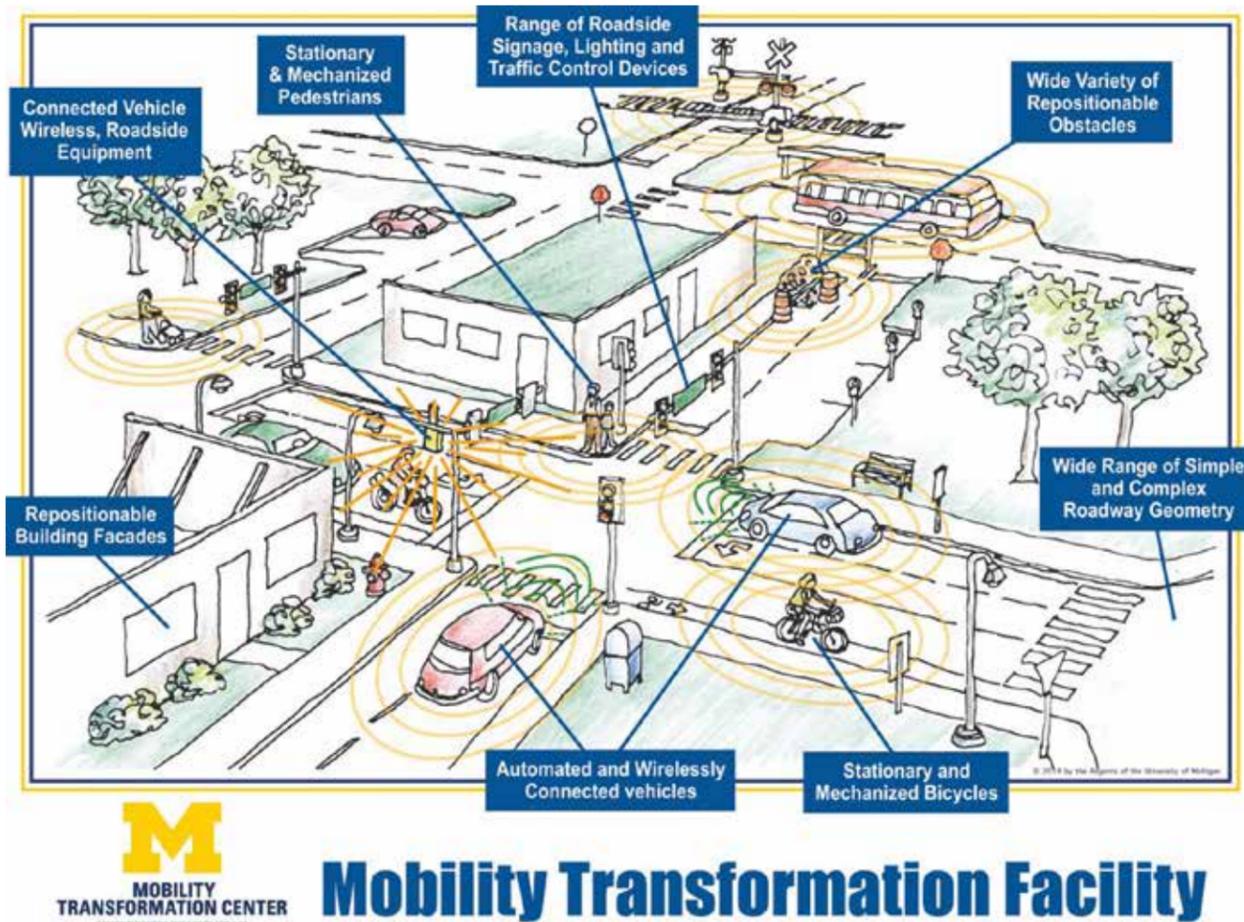


Abbildung 23: „Geisterstadt“ in Michigan als Testgebiet für automatisiertes und vernetztes Fahren. (Quelle: University of Michigan (2015))

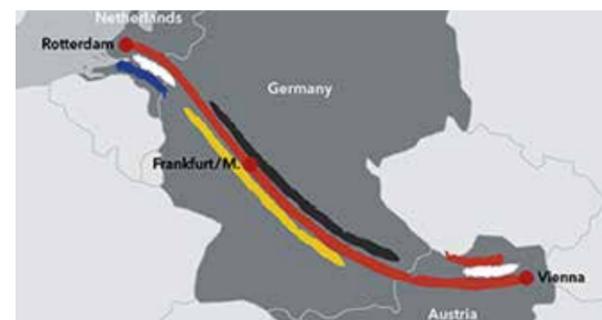


Abbildung 24: Cooperative ITS Corridor. (Quelle: BMVI (2015))

In den kommenden Jahren soll eine straßenseitige kooperative Infrastruktur für erste C2X-Anwendungen (im vorliegenden Fall konkret I2C-Anwendungen) aufgebaut werden. Initiative und Finanzierung hierfür liegen bei der öffentlichen Hand, womit die privatwirtschaftlich initiierten und betriebenen, deutlich kleineren Testfelder ergänzt werden.

Ebenfalls 2015 soll in vier Testgebieten in Großbritannien das vollautomatisierte Fahren vorangetrieben werden.²⁹ Dabei kommen unterschiedliche Fahrzeuge zum Einsatz. In Greenwich fährt

ein Shuttle durch die Innenstadt, in Milton Keynes und Coventry erfolgt die Erprobung eines Pkw mit herausgehobener Ausstattung für Vernetzung und in Bristol wird ein Jeep getestet.

In Göteborg in Schweden ist der Stadtring (Autobahnring) als Teststrecke für fahrerloses Fahren vorgesehen.³⁰ Für 2018 ist geplant, dass die Fahrzeuge ebenfalls durch die Innenstadt fahren.

Aber auch im nationalen Bereich steht das Thema im Fokus des Interesses. In einigen großen Projekten wurden in Deutschland im öffentlichen und nichtöffentlichen Verkehrsraum Testgebiete angelegt, ausgestattet oder ausgewiesen. Einige stehen dauerhaft zur Verfügung, andere verlieren nach Abschluss des zugehörigen Vorhabens ihre Funktion.

Ein Beispiel für nationale Aktivitäten ist die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM)³¹, die neben dedizierten Teststrecken auch das reale Umfeld eines Teils der Stadt Braunschweig als Testgebiet nutzt. Mit der aufgebauten Infrastruktur und speziell ausgestatteten Fahrzeugen werden Untersuchungen u. a. zur Verbesserung des Verkehrsflusses und zum Fahrverhalten durchgeführt. Der Braunschweiger Stadtring dient z. B. im Projekt Stadtpilot³² als Teststrecke für automatisiertes Fahren.

Das Testfeld des Forschungsvorhabens simTD (siehe Abschnitt 3.1) befand sich in Hessen und umfasste Streckenabschnitte innerhalb der Stadt Frankfurt sowie in der Umgebung. Hier lag der Schwerpunkt auf der Vernetzung von Fahrzeugen untereinander und mit der Infrastruktur auf Autobahnen, Land- und Stadtstraßen. Die Infrastruktur in diesem Gebiet wurde entsprechend ausgestattet.

Auch im Projekt Ko-FAS (siehe Abschnitt 3.1) werden ein Testgelände sowie eine öffentliche Kreuzung in Aschaffenburg genutzt. In Alzenau in Nordbayern erfolgte die Untersuchung kooperativer Systeme. Dabei ging es im Wesentlichen um die Minimierung von Schäden durch Kollisionen.

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) wies einen Abschnitt der A 9 in Bayern als Teststrecke für automatisiertes Fahren bis hin zum vollautomatisierten Fahren aus und hat im September 2015 eine „Strategie automatisier-

tes und vernetztes Fahren“ veröffentlicht. Baden-Württemberg und einige andere Bundesländer beabsichtigen ebenfalls den Ausbau der Infrastruktur an Autobahnabschnitten, die als Teststrecken genutzt werden sollen.

In Sachsen ist im Rahmen der Initiative Synchrone Mobilität 2023 der Aufbau eines Pilotgebiets für automatisiertes und vernetztes Fahren im urbanen Raum vorgesehen, das individuelle Funktionen im Fahrzeug ebenso wie die kollektive Verkehrssteuerung abdeckt und auch den ÖPNV einbezieht.

Hersteller von Fahrzeugen bzw. Fahrerassistenzsystemen und Komponenten zur Automatisierung oder Vernetzung arbeiten im Wesentlichen auf eigenen Teststrecken im In- und Ausland. So baut beispielsweise Daimler eine neue Teststrecke in Baden-Württemberg, die zur Simulation von urbanem Verkehr, Verkehr auf dem Land und im Gebirge ausgelegt ist.³³

Die Interna von Untersuchungen, die auf firmeneigenen Teststrecken stattfinden, sind wettbewerbsrelevant und werden von den Unternehmen in der Regel nicht bekannt gegeben.

Kernergebnis:

Testfahrten zum automatisierten und vernetzten Fahren werden je nach Anwendungsreife und Testgegenstand in dafür ausgewiesenen Gebieten oder frei im öffentlichen Verkehrsraum durchgeführt. Damit ist es möglich, sowohl neuartige Technologien mit der notwendigen Infrastruktur zu testen als auch die Tauglichkeit der fortgeschrittenen Entwicklungen im realen Verkehr zu untersuchen.



Abbildung 25: Geplante Daimler-Teststrecke. (Quelle: © Daimler AG)

²⁹ autobild.de (2015).

³⁰ spiegel.de (2014b).

³¹ Siehe <http://www.dlr.de/ts/desktopdefault.aspx/tabid-6422/#gallery/25304>

³² siehe <https://www.tu-braunschweig.de/stadtpilot>

³³ Vgl. faz.net (2015a).

Kapitel 3

3.3 FORSCHUNGSFAHRZEUGE

Zum Testen des vollautomatisierten Fahrens wurden von Herstellern, Forschungspartnern und Akteuren aus der IT-Branche Fahrzeuge ausgestattet. Das Spektrum reicht von der Aufrüstung konventioneller Pkw bis hin zur Entwicklung vollkommen neuer, auf die Automatisierung abgestimmter Fahrzeuge. Auch Fahrzeuge des öffentlichen Personenverkehrs und Lkw werden als Forschungsfahrzeuge eingesetzt. Diese Fahrzeuge bieten oftmals auch diverse Vernetzungsfunktionen im Kontext des automatisierten Fahrens.

Verwendung konventioneller Pkw

Ein Beispiel für die Erweiterung eines konventionellen Fahrzeugs lieferte der Versuchsträger Leonie in Braunschweig (siehe Abbildung 26), der aus einem VW Passat entwickelt wurde.



Abbildung 26: Versuchsfahrzeug „Leonie“. (Quelle: © TU Braunschweig)

Mit dem Google Lexus RX450h testet auch Google automatisiertes Fahren auf Basis eines umgerüsteten konventionellen Fahrzeugs.

Nicht immer sind aufwändige Änderungen am Fahrzeug erkennbar. So hat beispielsweise Mercedes-Benz mit dem S500 gezeigt, dass aktuelle Fahrzeuge ebenso in der Lage sind, hochautomatisiert zu fahren.



Abbildung 27: Mercedes-Benz S500. (Quelle: © Daimler AG)

Auch Audi hat entsprechende Konzepte und Fahrzeuge wie den Audi RS7 Piloted Driving, mit dem das autonome Fahren bei Spitzengeschwindigkeiten von bis zu 240 km/h auf dem Hockenheimring gezeigt wurde. BMW demonstriert mit einem BMW 5er Connected Drive das Fahren ohne Fahrereingriff und mit dem BMW 2er Coupé Connected Drive (siehe Abbildung 28) das Driften mit einem vollautomatisierten Fahrzeug.



Abbildung 28: BMW 2er Coupé Connected Drive. (Quelle: © BMW)

Volvo plant, ab 2017 automatisierte Testfahrzeuge für ausgewählte Kunden zur Verfügung zu stellen.³⁴

³⁴ autogazette.de (2014c).

Neuentwicklungen im Pkw-Bereich

Mit der Fahrzeugstudie F015 beschreibt Mercedes-Benz seine über konventionelle Fahrzeuge hinausgehende Vorstellung von vollautomatisierten Fahrzeugen der Zukunft (siehe Abbildung 4). Daneben präsentieren auch Akteure aus Branchen, die sich bisher nicht oder nicht vorrangig mit Fahrzeugentwicklung beschäftigt haben, ihre Vorstellungen von Fahrzeugen der Zukunft. Ein bekanntes Beispiel ist aktuell das Google Self-Driving Car.



Abbildung 29: Google Self-Driving Car. (Quelle: © Google)

In China wird ein futuristisch aussehender Chevrolet EN-V 2.0 entwickelt, der von Amerikanern bereits 2010 als Studie vorgestellt wurde. Das Fahrzeug absolvierte erste Tests im Jahr 2014.



Abbildung 30: EO smart connecting car 2. Gefördert im Rahmen verschiedener Projekte³⁵, Fördergeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, NOW GmbH. (Quelle: DFKI GmbH, Foto: Timo Birnschein)

³⁵ Siehe <http://www.dfki.de/robotik/de/forschung/projekte/item-innovative.html>, <http://www.dfki.de/robotik/de/forschung/projekte/mr-bremen-oldenburg.html>, <http://robotik.dfki-bremen.de/de/forschung/projekte/dabrem.html>

³⁶ Siehe <http://www.dus.com/de-de/an-und-abreise/skytrain>

³⁷ Siehe <http://www.autotram.info/>

Es kann zwei Personen befördern, wird elektrisch angetrieben und lässt sich wahlweise auch durch einen Fahrer steuern.

Das Deutsche Forschungszentrum für künstliche Intelligenz stellt ebenfalls ein Fahrzeug vor, das fahrerlos unterwegs ist und elektrisch angetrieben wird (siehe Abbildung 30). Es kann sich mit anderen Fahrzeugen zu Zügen zusammenschließen (Platooning) und beim Einparken seine Räder in einem 90-Grad-Winkel einschlagen.

Fahrzeuge für den öffentlichen Personenverkehr

Für den schienengebundenen Personenverkehr sind bereits fahrerlose Metros und Zubringer (wie zum Beispiel der SkyTrain am Flughafen Düsseldorf)³⁶ im produktiven Einsatz. Darüber hinaus werden auch mehr und mehr Fahrzeuge entwickelt, die sich auf der Straße fahrerlos bewegen können. Dabei handelt es sich einerseits um kleine und flexible, aber andererseits auch um besonders große Fahrzeuge, wie beispielsweise die AutoTram Extra Grand³⁷, mit deren Vorgängerversion schon vor Jahren Tests zum automatisierten Fahren durchgeführt wurden.



Abbildung 31: AutoTram® Extra Grand. (Quelle: © Fraunhofer IVI)

In Greenwich (Großbritannien) kommt ein Shuttle-Fahrzeug (siehe Abbildung 32) zum Einsatz, das selbständig durch eine Innenstadt fahren soll.

Kapitel 3



Abbildung 32: Shuttle-Fahrzeug in Greenwich. (Quelle: © Department of Transport, UK)

Ähnliche Fahrzeuge werden auch im Projekt CityMobil2³⁸ untersucht. Dieses europäische Forschungsvorhaben stellt eine Plattform für automatisiertes Fahren bereit, die in verschiedenen europäischen Städten zur Unterstützung der Automatisierung des öffentlichen Personenverkehrs eingesetzt werden soll. Einige



Abbildung 33: Testfahrzeuge zur Auswahl in CityMobil2. (Quelle oberes Bild: © Christophe Camus; Quelle unteres Bild: © 2getthere)

der Testfahrzeuge ähneln kleinen Bussen, während andere eher wie Ausflugsfahrzeuge aussehen (siehe Abbildung 33).

Fahrzeuge für den Güterverkehr

Im Bereich Güterverkehr wird aktuell an Lösungen für das Platooning gearbeitet. Beim Platooning fahren mehrere Fahrzeuge elektronisch gekoppelt hintereinander, wobei nur im ersten Fahrzeug ein Fahrer die Verantwortung für die Fahrzeugführung übernimmt (siehe Abbildung 34).



Abbildung 34: Lkw-Platooning. (Quelle: © Scania)

Dieses Konzept ist auch im Personenverkehr anwendbar, wird aber aktuell besonders im Güterverkehr vorangetrieben, weil hier viele Fahrzeuge lange Strecken mit ähnlichen Geschwindigkeiten zurücklegen.

Unabhängig von Platooning-Lösungen wurde vollautomatisiertes Fahren im Güterverkehr mit dem Freightliner Inspiration Truck (siehe Abbildung 35) gezeigt. Dieser Lkw kann auf Knopfdruck in den Automatikmodus umgestellt werden, nachdem zum Beispiel die Autobahn erreicht ist.

Mit diesem Fahrzeug absolvierte Daimler Trucks im Juli 2014 auf einem abgesperrten Abschnitt der A 14 bei Magdeburg die weltweit erste vollautomatisierte Lkw-Fahrt. Der Freightliner Inspiration Truck hat in den USA bereits eine Straßenzulassung erhalten. Seit dem Sommer 2015 dürfen die Tests auch auf Autobahnen in Baden-Württemberg durchgeführt werden. Der Probebetrieb wurde gestartet.



Abbildung 35: Freightliner Inspiration Truck. (Quelle: © Daimler AG)

Zusammenstellung im Überblick

Mit Blick auf die bisher realisierten Prototypen zeigt sich, dass viele der öffentlich bereits vorgestellten Fahrzeuge die in Serienprodukten verfügbaren Sensoren und Aktoren nutzen sowie in Teilen spezifisch, z. B. durch weitere Sensorik, ergänzen (siehe Abbildung 36).

Kernergebnis:

Zwei verschiedene Ansätze prägen die Entwicklung von Forschungsfahrzeugen für das automatisierte und vernetzte Fahren. Einerseits rüsten die Automobilhersteller konventionelle Fahrzeuge mit zusätzlicher Technik aus. Andererseits werden völlig neue Konzepte erarbeitet und verwirklicht. Aktuell laufen diese Entwicklungen parallel. Für beide Ansätze existieren funktionstfähige Prototypen.

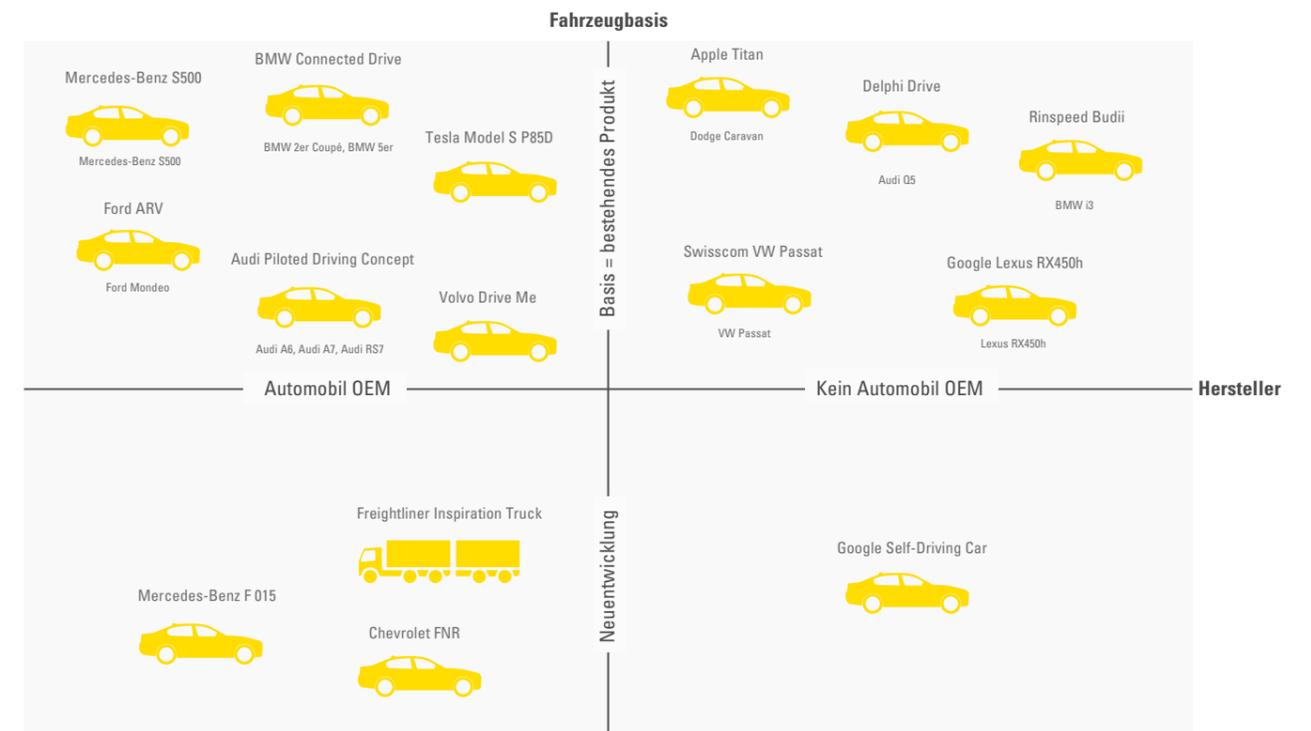


Abbildung 36: Auswahl gegenwärtig bekannter selbstfahrender Fahrzeuge und Fahrzeugkonzepte aus dem Pkw- und Lkw-Bereich. (Eigene Darstellung)

³⁸ Siehe <http://www.citymobil2.eu/en/About-CityMobil2/Overview/>

Kapitel 3

Testen von Komponenten

Begleitend zur Entwicklung von Fahrzeugen eröffnet sich mit der Validierung und Testung automatisierter Fahrfunktionen ein weiteres Forschungs- und Entwicklungsfeld. Die Erarbeitung eines allgemein akzeptierten Vorgehens und entsprechender Werkzeuge für das Testen hochautomatisierter Fahrzeugfunktionen ist erforderlich, da umfangreiche Realtests, wie sie in der Vergangenheit vor der Einführung neuer Systeme durchgeführt wurden, zukünftig nicht mehr möglich sind. Beispielhaft ist die Erforschung von Testmethoden, von Testkatalogen sowie von Testinstrumenten zur Gewährleistung der Sicherheit von automatisierten Fahrzeugen zu nennen. Ein Nachweis mittels simulations-, labor- und feldtestbasierter Methoden erscheint zielführend.

Ideen für die Zukunft

Mit der Perfektionierung der Technologien für automatisierte Fortbewegung werden auch andere Anwendungen denkbar, die aktuell noch futuristisch klingen. Die folgenden Beispiele können das Spektrum der Möglichkeiten nur anreißen.

Vielleicht können Einkaufswagen in Zukunft selbständig die passenden Regale ansteuern und auch den Weg zur Wohnung des Kunden und zurück zum Einkaufszentrum ohne menschliche Beteiligung zurücklegen. Zumindest für die Begleitung des Kunden beim Einkaufen gibt es bereits Lösungen.³⁹

Möglicherweise wird der Rollstuhl im Krankenhaus den Patienten ohne Unterstützung in die Röntgenabteilung befördern. Prototypen mit automatisierten Funktionen werden bereits heute entwickelt. Beispiele dafür sind der Roboter „Rolland“ mit Assistenzfunktionen wie der selbständigen Türdurchfahrt oder blick- bzw. gedankengesteuerte Rollstühle mit verschiedenen Zusatzfunktionen.

Basierend auf den Projekten zur Auslieferung von Paketen mit Drohnen entstanden weitere Ideen zur Nutzung solcher Fluggeräte.



Abbildung 37: Rollstuhl „Rolland“. (Quelle: Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH)

Vielleicht kommt auch der Landarzt eines Tages mit einem selbständig fliegenden Fluggerät zum Patienten. Die ersten Schritte in diese Richtung sind erfolgt. Ein Beispiel ist der Volocopter VC200. Er kann bereits heute zwei Personen befördern, senkrecht starten und mit einem Joystick gesteuert werden.



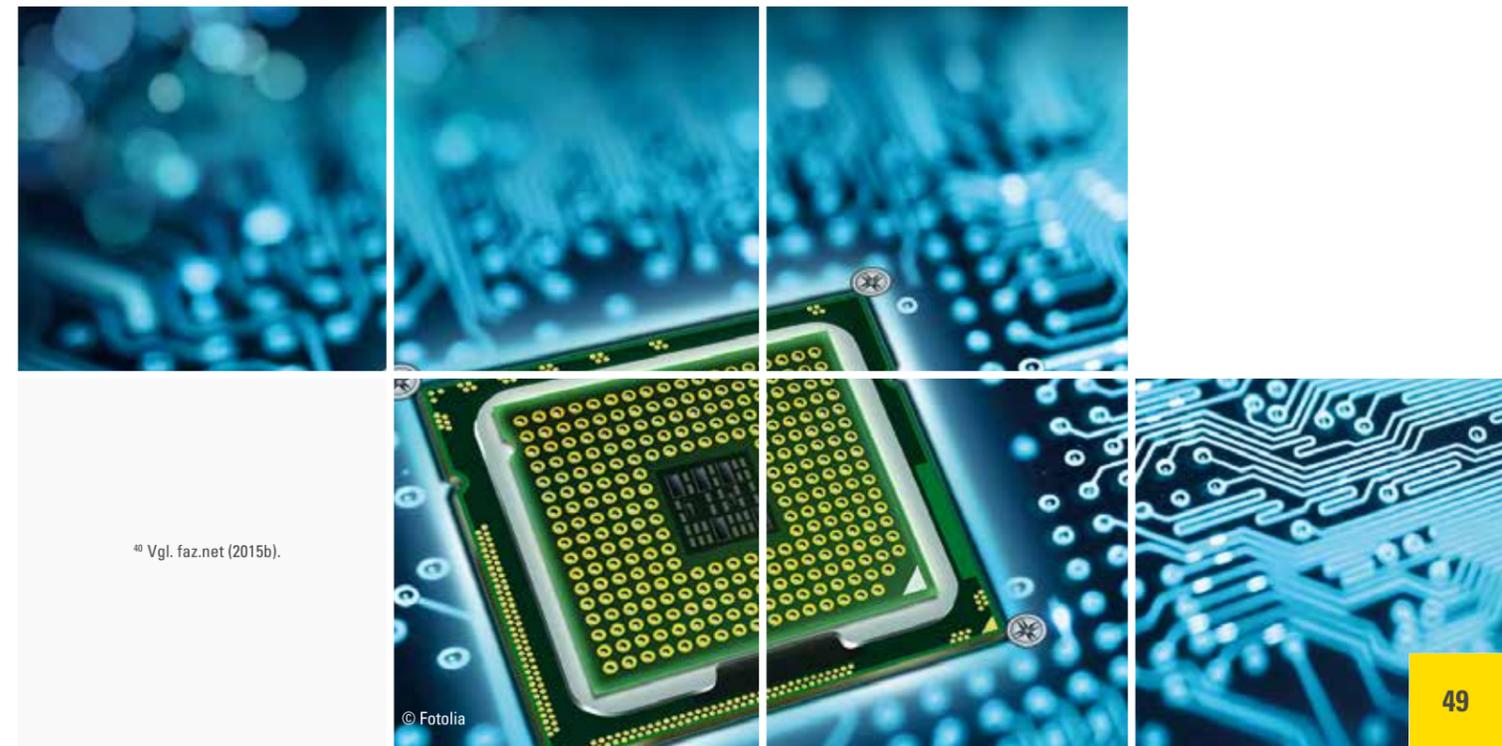
Abbildung 38: Volocopter VC200. (Quelle: e-volo (<http://www.e-volo.com/de>))

Ein Fluggerät für eine Person, das auch ohne Pilot fliegen kann, ist das Hoverbike⁴⁰, das aktuell für das amerikanische Verteidigungsministerium entwickelt wird.



Abbildung 39: Hoverbike. (Quelle: © Hoverbike)

Auch über Drohnen zur Rettung aus der Luft wird nachgedacht.



³⁹ Vgl. metawelle.net (2012).

⁴⁰ Vgl. faz.net (2015b).

Kapitel 4

AUSWIRKUNGEN AUF DAS STRASSENVERKEHRSSYSTEM

Es wurde gezeigt, dass die für die Realisierung des vernetzten und automatisierten Fahrens erforderlichen Technologien (siehe Kapitel 2) grundsätzlich verfügbar sind und bereits erste Funktionsnachweise erbracht wurden (siehe Kapitel 3).

Eine breite Anwendung des vernetzten und automatisierten Fahrens impliziert auch die Frage, welche Auswirkungen auf das Verkehrssystem⁴¹ zu erwarten sind. Insbesondere das automatisierte Fahren birgt die Chance, Mobilität gänzlich neu und im Hinblick auf Kosten, Zeit und Raum deutlich effizienter zu organisieren.

Für den Straßenverkehr lassen sich mit Blick auf die vorliegende Literatur und unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den im Rahmen dieser Studie geführten Interviews mindestens drei unterschiedliche Einflussbereiche identifizieren. Dies sind die direkten Auswirkungen auf die Steigerung der Verkehrssicherheit und Verkehrseffizienz (Abschnitt 4.1), die Effekte für die Umwelt unter den Gesichtspunkten Energie und Emissionen (Abschnitt 4.2) sowie die Frage nach der Realisierung von Verkehr heute und in Zukunft (Abschnitt 4.3).

Eine neue Herausforderung für alle Verkehrsteilnehmer ergibt sich durch den Mischbetrieb von automatisierten und nichtautomatisierten Fahrzeugen (Abschnitt 4.4).

Über das Straßenverkehrssystem hinaus bieten sich auch andere Umgebungen für den Einsatz fahrerloser Systeme an. Beispiele hierfür werden abschließend in Abschnitt 4.5 dargestellt.

4.1 VERKEHRSEFFIZIENZ UND -SICHERHEIT

Zentrale Kriterien, die Investitionsentscheidungen zum Neubau bzw. Ausbau von Straßeninfrastrukturen zugrunde liegen und die auch im öffentlichen Bewusstsein die Güte eines Verkehrssystems bestimmen, sind die Verkehrseffizienz und die Verkehrssicherheit. Zur Verkehrseffizienz trägt insbesondere ein wirksames Verkehrsmanagement bei.

Verkehrsmanagement

In fast jeder größeren Stadt in Deutschland sind Staus und lange

Wartezeiten ein täglich wiederkehrendes Problem. Dabei gelten Köln, Stuttgart und Hamburg als die deutschen Städte, in denen dieses Thema besonders brisant ist. Autofahrten am Tag dauern in Stuttgart im Schnitt ein Drittel länger als in der Nacht. In Stoßzeiten kann die Verzögerung einer Fahrt auf 50 % und mehr steigen.⁴²

Durch die Bereitstellung weiterer bzw. leistungsfähigerer Straßen können Staus reduziert werden. Dies erhöht die Kapazität und verbessert den Verkehrsfluss, erfordert aber auch hohe Investitionen. Darüber hinaus sind Verkehrsflächen, vor allem in Städten, zumeist beschränkt. Somit kommen allenfalls noch eine bessere örtliche sowie zeitliche Verteilung der Fahrzeuge im Verbund mit einer optimierten Verkehrssteuerung in Frage, um die Leistungsfähigkeit des bestehenden Straßenverkehrsnetzes zu erhöhen.

Schon heute wird den Fahrern eine Vielzahl von Verkehrsinformationen über Kommunikationsmedien (Radio, Mobilfunk etc.) zur Verfügung gestellt. Navigationsgeräte berechnen unter Nutzung dieser Information eine optimale Route. Ein Großteil der Autofahrer hat aufgrund dieser Hinweise die Möglichkeit, effizienter ans Ziel zu kommen. Insbesondere leisten auch diverse Maßnahmen und Strategien der Verkehrssteuerung (z. B. dynamische Geschwindigkeitsbeschränkungen auf Autobahnen, verkehrsabhängige Lichtsignalsteuerung innerorts) einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung des Verkehrsflusses. Diese können jedoch nur auf den Verkehrsstrom als Ganzes, nicht auf den individuellen Verkehrsteilnehmer wirken, so dass die Einflussmöglichkeiten beschränkt sind. Eine kollektive Abstimmung findet dabei nicht statt.

Automatisierung und Vernetzung des Fahrens bieten die Chance, dass die Verkehrslenkung bis in die einzelnen Fahrzeuge hineinwirkt, so dass durch Kommunikation der Fahrzeuge miteinander (kooperatives Fahren) oder durch Vorgaben einer Leitzentrale eine bessere Fahrzeugverteilung erfolgen kann. Hier liegen wesentliche Potenziale hinsichtlich der Verbesserung des Verkehrsflusses – beispielsweise durch Nachbilden von Schwarm- bzw. Kollektivverhalten. Dafür muss neben der Steuermöglichkeit auch ein ausreichend gutes Bild der gesamten Verkehrslage vorliegen. Derzeit kommen Daten zur Verkehrssituation u. a. von der öffentlichen Hand, aus Smartphone-Bewegungsprofilen und

Navigationsgeräten mit Rückkanal. Fest verbaute Kommunikationseinrichtungen in Fahrzeugen gestatten eine wesentliche Verbesserung der Verkehrsdatenlage.

Eine solche Fahrzeugvernetzung über C2X-Kommunikation bietet die Chance,

- Daten zur Verkehrslage in der Fläche zu erfassen (sogenannte Floating Car Data über C2I-Kommunikation),
- zentral in Verkehrsmanagement-Strategien umzusetzen und
- diese Informationen in einer deutlich höheren räumlichen und zeitlichen Auflösung als heute wieder an die Verkehrsteilnehmer zurückzuspielen.⁴³

Die Fahrzeugvernetzung, insbesondere die Vernetzung im Nahbereich, erlaubt neben der Bereitstellung besserer Informationen zum lokalen Verkehrszustand auch die Weitergabe von Daten zur lokalen Witterungslage oder zu möglichen lokalen Gefahrenstellen. Ortsangaben können genauer übermittelt werden, Echtzeitinformationen sind möglich.

Die Automatisierung von Fahrfunktionen wirkt sich außerdem positiv auf die Art und Weise aus, wie Verkehre abgewickelt

werden. Eine hohe Konformität zu (Verkehrs-)Regeln, wie sie in der Algorithmik solcher Systeme abgebildet wird, kann zur Homogenisierung des Verkehrsflusses beitragen. Auch extremes Fahrverhalten (z. B. starkes Beschleunigen oder Abbremsen, Ad-hoc-Spurwechsel) könnten vermieden bzw. in der Wirkung auf das Gesamtsystem abgemildert werden.

Solange automatisiert fahrende Fahrzeuge im Mischverkehr mit nicht automatisierten Fahrzeugen unterwegs sind und die Verkehrsregeln nicht angepasst werden, ist aber nicht auszuschließen, dass neben den positiven Wirkungen auch negative Folgen für die Verkehrseffizienz entstehen (siehe Abschnitt 4.4).

Kapazitätsauslastung durch Platooning

Für den Anwendungsfall des Platooning (siehe hierzu auch Infobox in Abschnitt 2.7), das eine Kombination aus automatisiertem und vernetztem Fahren darstellt, konnte in Simulationen gezeigt werden, dass sich die Kapazität eines zweistreifigen Autobahnabschnitts durch den Einsatz von Lkw-Kolonnen deutlich steigern lässt (siehe Abbildung 40).

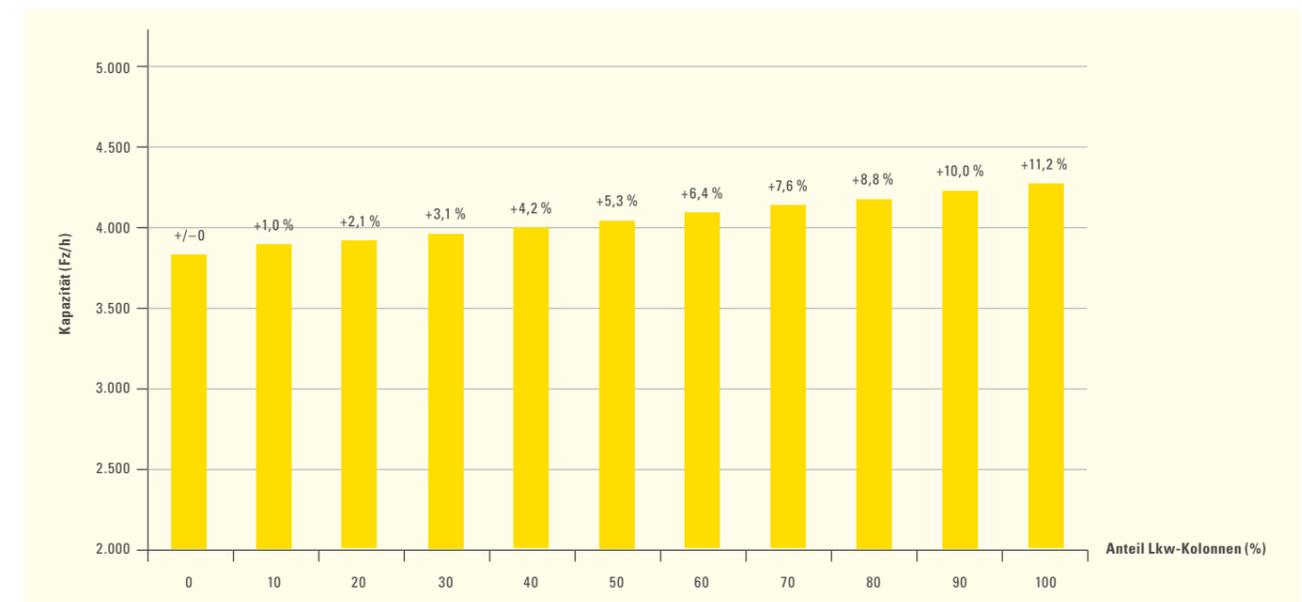


Abbildung 40: Kapazitätsänderungen durch unterschiedliche Anteile von Lkw-Kolonnen. (Quelle: Klaußner, S.; Irtenkauf, P. (2013); Anmerkung: Kapazität zweistreifiger Autobahn bei 80 km/h)

⁴¹ Der Fokus wird dabei auf den Straßenverkehr gelegt. An geeigneter Stelle weisen Beispiele aus anderen Bereichen auf spezifische Entwicklungen hin.

⁴² Siehe hierzu auch Abbildung 49 in Abschnitt 5.2.

⁴³ Vgl. Santa, C. et al. (2014).

Kapitel 4

Noch größere Kapazitätssteigerungen wären möglich, wenn gleichzeitig auch Pkw in Kolonnen fahren würden. Die geringeren Fahrzeugabmessungen erlauben, mehr Teilnehmer in einer Kolonne zu vereinen. Sofern jeder Pkw auf Autobahnen in Kolonne fahren würde, stiege die Kapazität eines zweistreifigen Autobahnabschnittes bereits um 12 %.⁴⁴

Inwiefern das automatisierte Fahren und dessen Wirkungen schon in heutigen Infrastrukturplanungen, die Planungshorizonte bis zum Jahr 2035 bzw. 2040 haben, zu berücksichtigen sind, beantworten Bierstedt et al. (2014) mit „maybe, but probably not.“⁴⁵ Sie verweisen in ihrer Begründung auf eine Studie, aus der hervorgeht, dass erst im Zeitraum 2050 bis 2060 der Anteil automatisierter Fahrzeuge am Gesamtbestand so hoch sein wird (50 bis 75 %), dass ein Einfluss dieser Fahrzeuge bzw. ihres Fahrverhaltens auf die Kapazität der Infrastruktur gegeben ist.

Verkehrssicherheit

Im Hinblick auf die Verkehrssicherheit lässt sich zunächst festhalten, dass der bisher erfolgreiche Weg der Verminderung der im Straßenverkehr Getöteten – seit den 1970er Jahren um mehr als 75 % auf ca. 3.400 im Jahr 2014⁴⁶ – zu einem Teil auf die bessere Unterstützung des Fahrers bei der Fahraufgabe durch den Einsatz von Technik zurückzuführen ist.⁴⁷

Positive Effekte ergeben sich zukünftig auch aus der Verfügbarmachung von Informationen über sicherheitskritische Situationen jenseits des Sehhorizontes des Fahrers (z. B. Stauende, stehendes Fahrzeug). Weil Zeit ein kritischer Faktor ist, bietet sich hier eine Vernetzung durch C2X-Kommunikationstechnologien an – es wurde aber auch schon erforscht, inwiefern sich über Mobilfunk sicherheitskritische Informationen und Meldungen sehr zeitnah austauschen lassen.⁴⁸

Im Projekt simTD (vgl. Abschnitt 3.1) erfolgte der Test von C2X-Kommunikationstechnologien in Deutschland erstmals außerhalb des Labors in einem großen Maßstab und unter realen Einsatzbedingungen. In Simulationen wurden – unter Berücksichtigung der in Feldversuchen erhobenen Parameter – die Wirkungen von simTD-Funktionen nachgebildet. Dabei standen im Hinblick auf die Vermeidung von Unfällen und Schwerverletzten drei ausgewählte Anwendungsfälle im Fokus (siehe Tabelle 6). Insbesondere der Querverkehrsassistent, der den Fahrer frühzeitig auf vorfahrtsberechtigten querenden Verkehr aufmerksam macht und bei drohender Vorfahrtmissachtung warnt, zeigte ein hohes Wirkpotenzial.

Die Analyse des Wirkpotenzials vernetzter und automatisierter Fahrzeuge im Hinblick auf die Verkehrssicherheit ist Gegenstand zahlreicher FuE-Projekte, die gegenwärtig noch laufen (siehe auch Tabelle 5 in Abschnitt 3.1) und daher noch keine

finalen Ergebnisse aufweisen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich durch die Eliminierung menschlicher Unzulänglichkeiten aus dem Regelkreis der Fahrzeugführung (siehe Abbildung 1 in Abschnitt 2.1) die Verkehrssicherheit enorm erhöhen ließe. Reaktionen auf Gefahren, z. B. durch Änderungen in der Längs- und/oder Querverführung, werden dann weit unterhalb der menschlichen Reaktionszeit stattfinden. Menschliche Ermüdung und Konzentrationsschwäche verlieren im automatisierten Fahrzeug ihre Bedeutung.

Kernergebnis:

Automatisierung und Vernetzung bieten ein großes Potenzial für ein verbessertes Verkehrsmanagement und eine Erhöhung der Verkehrseffizienz. Sie können durch verbesserte Information, kollektive Beeinflussung und Stabilisierung des Fahrverhaltens einen Beitrag zur Homogenisierung des Verkehrs leisten und die Verkehrssicherheit erhöhen.

4.2 UMWELT UND ELEKTROMOBILITÄT

Die Aufrechterhaltung und der Ausbau eines umfassenden Mobilitätsangebots gehen einher mit einer Reihe von negativen Umweltwirkungen. Neben dem Energieverbrauch (Kraftstoffe) sind dabei Emissionen (Lärm, Schadstoffe) von besonderer Bedeutung. Beide Themen sind eng miteinander verknüpft. Sie nehmen auch in der Diskussion zur Elektromobilität einen breiten Raum ein.

Synergien mit der Elektromobilität

Vor fast 150 Jahren entstand das erste Fahrzeug, das mit einem Verbrennungsmotor bestückt die Fortbewegung ermöglichte. Diese Erfindung wurde seitdem erfolgreich evolutionär weiterentwickelt und dabei wurden Sicherheit und Komfort erhöht. Die Elektronik nahm einen immer größeren Raum ein, aber zwei Charakteristika blieben im Wesentlichen erhalten:

- Die Fahrzeuge werden von einem Verbrennungsmotor angetrieben.
- Die Steuerung erfolgt durch einen Fahrer.

Diese Grundsätze sind durch die aktuellen Technologieentwicklungen in Frage gestellt. Elektroantrieb und automatisiertes Fahren können gemeinsam eine disruptive Veränderung in der Automobiltechnik herbeiführen. Obwohl beide Technologien grundsätzlich unabhängig voneinander nutzbar und entwickelbar sind, bieten sich wichtige Anknüpfungspunkte, die für eine koordinierte Entwicklung sprechen. Sie können sich gegenseitig befruchten.

Mit der Entwicklung des elektrischen Antriebs erfolgte auch eine Überarbeitung der Elektrik und Elektronik im Fahrzeug. In Verbrennungsmotoren gebräuchliche mechanische Steuerungen wurden vielfach bereits durch elektronische ersetzt. Der automatisierte Eingriff in die Fahrzeugfunktionen ist für derartige Steuerungen deutlich einfacher zu realisieren als die Nachbildung eines mechanischen Vorgangs.

Einen vielversprechenden Beitrag leistet das Forschungsprojekt „Energieoptimale, intelligente Lenkkraftunterstützung für elektrische Fahrzeuge (e²-Lenk)“.⁴⁹

Infobox:

Forschungsprojekt e²-Lenk

Im vom BMBF geförderten Forschungsvorhaben wird ein radselektiver Antrieb entwickelt. Ziel ist es, durch geschickte Regelung der Antriebsmomente der einzelnen Räder die Lenkung energieeffizient zu unterstützen. Für das automatisierte Fahren ergeben sich aus diesem technologischen Ansatz deutlich höhere Freiheitsgrade im Hinblick auf den Lenkwinkelschlag. Mit dem Verbundprojekt e²-Lenk startet das erste gemeinsame öffentlich geförderte Projekt im Rahmen der Forschungskoooperation SHARE am KIT zwischen der Schaeffler Technologies AG & Co. KG und dem KIT. Schaeffler und das KIT sind Partner des Spitzenclusters Elektromobilität Süd-West (ESW), der über 100 Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft in der Region Karlsruhe – Mannheim – Stuttgart – Ulm verbindet.

	Elektronisches Bremslicht	Querverkehrsassistent	Verkehrszeichenassistent für Stoppschilder
Vergleich	Herkömmlicher Unfallhergang	Ausstattung mit Bremsassistent	Ausstattung mit Bremsassistent
Vermiedene Unfälle (Erwartungswert)	 7,3 %	 54,0 %	 14,3 %
Reduktion Schwerverletzter	2,0 % → 0,9 % -43 %	5,9 % → 1,8 % -66 %	8,0 % → 6,6 % -17 %

Tabelle 6: Wirkungen auf die Verkehrssicherheit für ausgewählte C2X-Anwendungsfälle. (Eigene Darstellung; Quelle: simTD (2013c))

⁴⁴ Klaußner, S.; Irtenkauf, P. (2013).

⁴⁵ Bierstedt et al. (2014).

⁴⁶ BAST (2015).

⁴⁷ Vgl. DLR (2014).

⁴⁸ Siehe hierzu AKTIV (2009), den Ergebnisbericht zum Forschungsprojekt AKTIV CoCar (siehe auch Abschnitt 3.1).

⁴⁹ <http://www.share.kit.edu/e2lenk/index.php>

Kapitel 4

Viele für die Automatisierung wichtige Funktionen wurden bereits in Elektrofahrzeugen realisiert. So arbeitet beispielsweise der hybrid angetriebene Mercedes C350e mit einem haptischen Gaspedal. Dieses weist durch Gegendruck oder Vibration den Fahrer auf eine energieeffiziente Fahrweise hin bzw. steuert den Einsatz des Elektroantriebs. Basis dafür sind digitale Karten (Geländemodell, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Ortsdurchfahrten) und Sensorwerte (Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug). Der Schwerpunkt liegt auf der effizienten Nutzung der Energie. Die hierfür erforderliche Datenerfassung und -auswertung ist auch für die Automatisierung von großem Wert.

Elektrisch angetriebene Lkw sind aktuell eher selten auf den Straßen zu finden. Die Firma Siemens geht mit dem eHighway einen Schritt hin zur Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs, der auch die Automatisierung in diesem Bereich befördern kann.⁵⁰ Die Fahrzeuge lassen sich sowohl elektrisch als auch konventionell betreiben. Sie entnehmen die elektrische Energie aus Oberleitungen, die entlang von häufig genutzten Routen installiert werden sollen. Fahrzeuge, die sich auf diesen Abschnitten bewegen, fahren zwangsläufig hintereinander und könnten deshalb auch in Platoons gekoppelt fahren.

Insgesamt leistet also die Elektromobilität der Automatisierung Vorschub. Bei der Versorgung mit Energie wirkt die Automatisierung im Gegenzug auch als Treiber für die Elektromobilität.

Einen Ansatzpunkt bietet das „Betanken“ von Fahrzeugen. Hier gibt es zahlreiche Forschungsaktivitäten, z. B. die Projekte AUTOPLES⁵¹ und Intelligentes Parkhaus⁵². Das automatisierte Laden



Abbildung 41: Automatisiertes Laden im ÖPNV. (Quelle: Fraunhofer IVI)

eines Elektrofahrzeugs ist schon heute möglich (siehe Abbildung 41), wohingegen die Realisierung des echten Betankens mit herkömmlichem Kraftstoff ohne menschlichen Eingriff schwierig ist.

Für Nutzer von Elektrofahrzeugen ist die Möglichkeit zum schnellen Laden unterwegs von entscheidender Bedeutung. Nur so lassen sich auch größere Distanzen mit diesen Fahrzeugen überwinden. Darüber hinaus ist die Möglichkeit, das Fahrzeug während einer länger andauernden Tätigkeit (Beratung, Theaterbesuch, Einkauf usw.) aufladen zu können, eine wichtige Voraussetzung für die Verbreitung von Elektrofahrzeugen. Ladesäulen, insbesondere Schnellladesäulen, sind jedoch bislang – auch aus finanziellen Gründen – nicht in ausreichender Menge verfügbar.

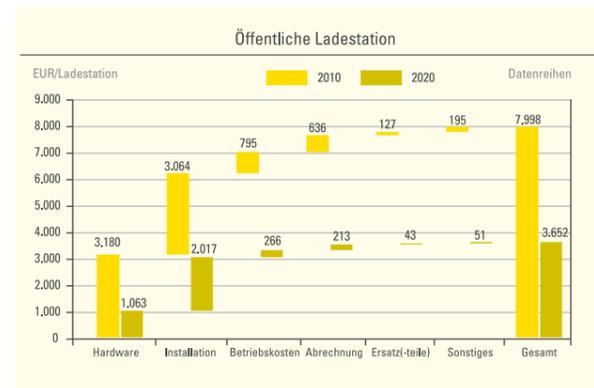


Abbildung 42: Hardware-, Installations- und Betriebskosten für eine öffentliche Lade station für die Jahre 2010 und 2020. (Quelle: Fraunhofer IAO (2013))

Obwohl die Kosten dafür in Zukunft fallen werden (siehe Abbildung 42), bleibt es weiterhin wichtig, die vorhandenen Einrichtungen effizient zu nutzen. Öffentlich zugängliche Ladesäulen, zum Beispiel in Parkzonen, werden auch deshalb nicht ausgelastet, weil Fahrzeuge die Ladesäule blockieren, auch nachdem ihr Akku aufgeladen ist. Hier kann das automatisierte Fahren die Elektromobilität voranbringen, indem die Fahrzeuge ohne menschlichen Eingriff in die Ladezone einfahren, den Ladevorgang starten, den Ladezustand kontrollieren und den Ladebereich wieder für andere Fahrzeuge freigeben. Einige aktuelle Forschungsprojekte beschäftigen sich mit dieser Problematik, z. B. V-Charge.⁵³ Auch die Industrie hat das Thema im Fokus, wie eine im Juni 2015 angekündigte Zusammenarbeit zwischen Bosch und Daimler zeigt.⁵⁴

Infobox:

Beispiel für Rahmenbedingungen in anderen Ländern

Neben systemischen Synergien zeigt auch eine eher an den Rahmenbedingungen am Markt ausgerichtete Überlegung einen Zusammenhang zwischen Elektromobilität und automatisiertem Fahren auf. Die Nutzung von Verbrennungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen benötigt eine ausgefeilte Technologie und Expertise, die besonders bei etablierten Fahrzeugherstellern in hohem Maße vorhanden ist. Länder ohne vergleichbare technologische Tradition im Automobilbau (z. B. China) entwickeln dagegen vielfach eigene Fahrzeuge. Sie vollziehen dabei möglicherweise nicht alle Entwicklungsschritte nach, die im klassischen Fahrzeugbau gegangen wurden, und orientieren sich teilweise auf die technologisch einfachere Nutzung der Elektroenergie zum Antrieb von Fahrzeugen. Insbesondere in China können darüber hinaus Maßnahmen zum Umweltschutz und die Unterstützung der Elektromobilität durch die Zentralregierung befördernd wirken. Sie plant den Ausbau des Netzes von Ladestationen und subventioniert in China hergestellte Elektrofahrzeuge. Darüber hinaus erfolgt die Zuteilung eines Nummernschilds für ein Elektrofahrzeug deutlich schneller als für ein konventionell angetriebenes Fahrzeug.⁵⁵ Es wird deshalb vielfach prognostiziert, dass der Elektroantrieb hier einen Durchbruch erleben wird.

Gleichzeitig zeigen Untersuchungen, dass die Affinität der Menschen zum vollautomatisierten Fahren in einigen dieser Länder, auch in China, wesentlich ausgeprägter ist als zum Beispiel in Europa (siehe Abbildung 57). Darüber hinaus können, bedingt durch die politischen Rahmenbedingungen, möglicherweise rechtliche oder organisatorische Hürden dort leichter überwunden werden.

Diese Überlegungen legen nahe, dass sich insbesondere in diesen Ländern automatisiertes Fahren und Elektromobilität wechselseitig voranbringen könnten.

Kernergebnis:

Automatisierung und Elektromobilität sind nicht direkt gekoppelt. Sie können unabhängig voneinander vorangetrieben werden. Es gibt aber technische Anknüpfungspunkte und darüber hinausgehende Rahmenbedingungen, die Synergien für eine parallele Weiterentwicklung erwarten lassen.

Kraftstoff und Emissionen

Neben Elektrofahrzeugen werden auch in Zukunft konventionelle Fahrzeuge zum Einsatz kommen. Nach wie vor sind die dabei verursachten Emissionen ein großes Problem.

In Abschnitt 4.1 wurde bereits dargestellt, dass vernetztes und automatisiertes Fahren zu einer Homogenisierung des Verkehrsflusses beitragen kann. Abbildung 43 zeigt am Beispiel des Kolonnenfahrens, dass es auch darüber hinaus positive Auswirkungen auf den Energiebedarf geben kann.

Zusammen mit dem Kraftstoffverbrauch sinken auch der CO₂-Ausstoß und die Emission vieler Schadstoffe. Insbesondere im Verkehrssektor stellt die Senkung der Emissionen eine zentrale Herausforderung für die Zukunft dar (siehe Ausführungen hierzu in Abschnitt 5.2).

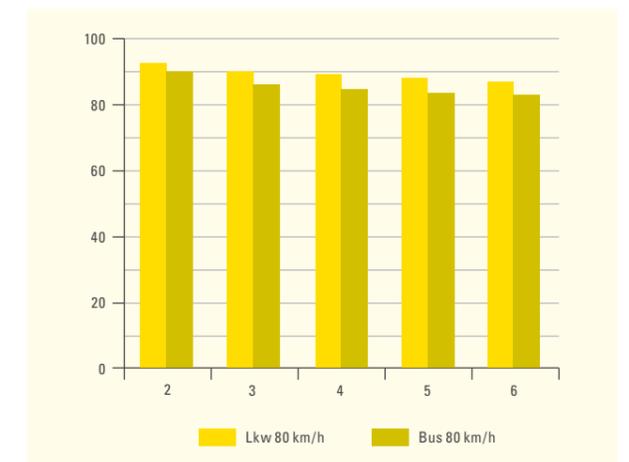


Abbildung 43: Energiebedarf homogener Lkw- bzw. Bus-Kolonnen im Vergleich zur gleichen Anzahl an Einzelfahrzeugen (in Prozent). (Eigene Darstellung; Quelle: Klaußner, S.; Irtenkauf, P. (2013))

⁵⁰ Vgl. Siemens (2015).

⁵¹ Nähere Erläuterungen hierzu in Abschnitt 5.4.

⁵² Siehe http://www.elektromobilitaet.fraunhofer.de/de/bauweisen_infrastruktur/autonomes_fahren.html

⁵³ Siehe auch <http://www.v-charge.eu>

⁵⁴ Vgl. Bosch (2015).

⁵⁵ Vgl. sueddeutsche.de (2015).

Kapitel 4

Darüber hinaus kann die Automatisierung und Vernetzung weitere Einsparpotenziale erschließen. Ein Beispiel ist die Navigation über günstige Routen – sowohl in Bezug auf Zeitdauer als auch auf Kraftstoffverbrauch – auf Basis von genauen digitalen Karten (siehe Abschnitt 2.4), die z. B. auch Daten zur Topographie des Verkehrsraums (Geländemodelle) enthalten.

4.3 NEUE MOBILITÄTSLÖSUNGEN

In Teilbereichen des öffentlichen Personennahverkehrs ist die Automatisierung schon weit fortgeschritten.

Bereits 2008 wurde in Nürnberg zum ersten Mal in Deutschland der Regelbetrieb einer fahrerlosen U-Bahn gestartet. Auch in anderen Städten in Europa (z. B. Paris, Lille, Toulouse, London, Kopenhagen, Turin) werden solche Systeme eingesetzt. Bisher beschränkt sich der Einsatz fahrerloser öffentlicher Fahrzeuge allerdings auf das abgeschirmte Tunnelnetz von U-Bahnen und auf Sonderfahrzeuge wie Schwebelbahnen (z. B. H-Bahn Dortmund) sowie Zubringer mit abgeschirmtem Fahrweg (z. B. People Mover, London Heathrow).

In den Niederlanden startet im November 2015 ein Betrieb mit kleinen fahrerlosen Bussen im öffentlichen Straßennetz, die Geschwindigkeiten bis zu 25 km/h erreichen.⁵⁶

Darüber hinaus werden aktuell auch Platooning-Lösungen avisiert. Mehrere Fahrzeuge (Bus, Straßenbahn) sollen elektronisch gekoppelt werden und so den erhöhten Bedarf in Spitzenzeiten abdecken.

Im Bereich der individuellen Mobilität hingegen beginnt der Prozess zur Automatisierung des Fahrens gerade erst. Ein Kristallisationspunkt ist hier das private Fahrzeug. Statistisch besitzt fast jeder zweite Bundesbürger ein eigenes Auto. Betrachtet man nur die relevanten Altersgruppen (zwischen etwa 20 und 80 Jahren), beträgt der Anteil der Autobesitzer schon ca. 70 %.⁵⁷

Diese Fahrzeuge benötigen Straßen oder Parkflächen und belasten die Umwelt sowie die Lebensumgebung insbesondere in Innenstädten und großen Wohnvierteln. Wohnungsnahe Parkplätze sind zu einem knappen Gut geworden. Die Straßen sind

beidseitig mit parkenden Autos belegt, die Qualität des Lebensumfeldes leidet unter der einseitigen Nutzung der vorhandenen Flächen. Es bleibt wenig Raum für Fußgänger, Anwohner, Kinder usw.

Gleichzeitig verliert der Besitz eines repräsentativen Automobils bei jüngeren Menschen in deutschen Städten seinen Stellenwert. Sie nutzen je nach Bedarf nichtmotorisierte Fortbewegungsarten (insbesondere Fahrräder), den öffentlichen Verkehr sowie zunehmend auch neue Mobilitätsformen, die erst durch den Fortschritt in der Informations- und Kommunikationstechnik möglich wurden. Diese neuen Mobilitätskonzepte wie Car-Sharing, Car-Pooling oder Ad-hoc-Mitfahrgelegenheiten bieten zumindest im urbanen Raum eine Chance zur Reduzierung der Menge des Fahrzeugbestands durch gemeinsame Nutzung.

Die Tendenz zu weniger Besitz auch bei Automobilen und die Vernetzung bzw. Automatisierung des Fahrens können insgesamt zu einer erheblichen Verbesserung der Verkehrssituation führen. Dabei werden Individualisierung und Flexibilität der Mobilität durch die Automatisierung selbst dann erhalten oder verbessert, wenn nicht jeder jederzeit auf ein eigenes Fahrzeug Zugriff hat.

Theoretische Analysen zeigen, dass die Anzahl der Fahrzeuge in (US-)Haushalten allein durch die gemeinsame Nutzung von fahrerlos fahrenden Fahrzeugen innerhalb der Haushaltsgemeinschaft deutlich gesenkt werden könnte. In ihren Berechnungen zeigen Schoettle und Sivak auf, dass die Anzahl der Fahrzeuge je Haushalt von 2,1 auf 1,1 bei gleichzeitig um denselben Faktor steigender Laufleistung gesenkt werden könnte – unter Beibehaltung des vorherigen Umfangs an Mobilität.⁵⁸ Dabei ist allerdings auch zu berücksichtigen, dass zusätzliche Wege durch Leerfahrten die positiven Auswirkungen teilweise aufheben werden.

Mit vollautomatisierten Fahrzeugen werden neue Nutzungs- und Parkkonzepte denkbar. So wäre es möglich, jederzeit und überall in ein herbeigerufenes Fahrzeug einzusteigen, das das individuelle Ziel ansteuert. Dadurch lassen sich auch Wegeketten mit unterschiedlichen Fahrzeugen, die den öffentlichen Verkehr einbeziehen, deutlich besser realisieren. Parkplatzzuche und entsprechende Wege entfallen, das Fahrzeug ist über den freien Parkplatz informiert, findet den Weg dorthin und parkt selbständig ein.

»Dadurch, dass die Autos selbständig einparken, wird weniger Platz benötigt. Der „Abstellplatz Straße“ wird verschwinden.«

*Gernot Lobenberg,
Leiter der Berliner Agentur für Elektromobilität (eMO)⁵⁹*

Es gibt eine Reihe von Szenarien, die die Einbindung vollautomatisierter vernetzter (Sharing-)Fahrzeuge beinhalten:

- In Reiseketten können sie analog zu Taxis die Wegstrecke bis zur ersten Haltestelle im öffentlichen Verkehr übernehmen, Lücken in der Reisekette schließen und die Bewältigung der letzten Etappe zum Ziel ermöglichen. Eine wesentliche Voraussetzung für einen reibungslosen Ablauf ist neben der Verfügbarkeit der Fahrzeuge auch ihre Vernetzung mit dem öffentlichen Verkehr.
- In dünn besiedelten Gebieten sind sie als Ersatz für schwach ausgebauten öffentlichen Nahverkehr denkbar.⁶⁰ Ähnlich wie beim Bedarfsverkehr oder bei Bürgerbuskonzepten würden diese Fahrzeuge entweder die vollständige Fahrt übernehmen oder ebenfalls als Zubringer zum Nahverkehr zum Beispiel in einem Mittelzentrum dienen.
- Für Senioren und Kinder, die selbst nicht Auto fahren wollen bzw. können, bieten sie eine Möglichkeit zur Erhaltung der Mobilität, die nicht davon abhängig ist, dass andere Menschen den Fahrdienst übernehmen.⁶¹
- Kleine Transportgeräte (z. B. autonome Fahrzeuge im Car-Sharing-Angebot, die auf Abruf den Verkehrsteilnehmer „abholen“ und zum Zielort bringen) können die Flexibilität im öffentlichen Verkehr erhöhen und den individuellen Bedarf in einigen Bereichen besser erfüllen als die bisher üblichen Bus- und Bahnverkehre mit einer starren Linientaktung und lediglich punktuellen Zu- und Ausstiegsmöglichkeiten.⁶²

Allen Einsatzszenarien ist gemein, dass sie einen Beitrag dazu leisten können, das Mobilitätsangebot aufrechtzuerhalten bzw. auszubauen und neue Formen der Mobilität, in denen die Fahraufgabe in den Hintergrund tritt, zu ermöglichen. Sie bedingen aber auch eine hohe Verfügbarkeit von Fahrzeugen.

»Es ist nicht die „Ich möchte auf dem Weg zur Arbeit lesen“-Idee. Vielmehr sehe ich hier das zuverlässige Car-Sharing, das die Art und Weise ändert, wie wir über persönliche Mobilität denken. Das Wissen, dass man in Zukunft zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort ein Verkehrsmittel hat und sich wirklich darauf verlassen kann. Dann können wir von dem Besitz-Modell zu einem Abonnement-Modell für Fahrzeuge übergehen.«

*Gernot Lobenberg,
Leiter der Berliner Agentur für Elektromobilität (eMO)⁶³*

Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass die Automatisierung des Fahrens auch zu einer Erhöhung des Verkehrsaufkommens führen kann. Die Nutzung individueller Fahrzeuge durch neue Nutzergruppen und der Zeitgewinn durch die Entlastung von der Fahraufgabe können dazu beitragen.

Außerdem ist zu berücksichtigen, dass automatisiertes Fahren einen vergleichsweise hohen Standard der Infrastruktur (z. B. Straßenmarkierungen) voraussetzt, so dass sich die Wirkung insbesondere in dünn besiedelten Gebieten möglicherweise nicht voll entfalten kann.

Kernergebnis:

Das zum Reisezweck passende automatisierte Fahrzeug auswählen, ohne es zu besitzen, und sich von diesem Fahrzeug bequem an der Haustüre abholen oder absetzen lassen: Dieses Konzept könnte die Mobilität neu definieren.

4.4 HERAUSFORDERUNG MISCHBETRIEB

Es ist davon auszugehen, dass automatisierte Fahrfunktionen und Assistenzsysteme einhergehend mit weiterer Vernetzung schrittweise den Markt durchdringen. In einigen Teilbereichen werden sie früher verfügbar sein, in anderen später. So lässt sich erwarten, dass Anwendungen, die den Fahrer von monotonen oder simplen Aufgaben entlasten, wie zum Beispiel Staufahrten auf der

⁵⁶ Siehe <http://wepods.nl/>

⁵⁷ Eigene Berechnungen auf Basis von KBA (2015) und Destatis (2015).

⁵⁸ Vgl. Schoettle, B.; Sivak M. (2015). Es wird in dieser Berechnung davon ausgegangen, dass viele Fahrzeuge lange Zeiten am Tag ungenutzt an der Arbeitsstelle abgestellt werden.

⁵⁹ In dieser Zeit könnten sie einem anderen Mitglied des Haushalts zur Verfügung stehen. Bierstedt et. al. (2014) quantifizieren den Effekt der höheren Laufleistung in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern (Marktdurchdringung, Anwendungsbereich).

⁶⁰ autogazette.de (2014a).

⁶¹ Ein solches Szenario soll in Japan getestet werden. Vgl. autonomes-fahren.de (2015b).

⁶² Befragungsergebnisse zeigen jedoch, dass die Affinität älterer Generationen zum teil- bzw. vollautomatisierten Fahren nicht deutlich ausgeprägter als bspw. die von jungen Fahrern ist. Vgl. auch puls (2015) und KPMG (2013).

⁶³ Perspektivisch könnte der MIV den ÖV ablösen. Die Tatsache, dass sich auch ein großer europäische Konzern, der Mobilitätsdienstleistungen im Bereich des öffentlichen Verkehrs erbringt, gegenwärtig mit den Auswirkungen des hoch- und vollautomatisierten Verkehrs auf sein bisheriges Geschäftsmodell beschäftigt (vertrauliches Projekt der Prognos AG), unterlegt die Bedeutung dieses Aspekts.

⁶⁴ Mercedes (2013b).

Kapitel 4

Autobahn, eher Praxisreife erreichen als komplexe Lösungen im Stadtverkehr. Anwendungen in eng abgeschlossenen Gebieten, wie die automatisierte Parkplatzsuche im Parkhaus, sind relativ einfach zu realisieren und werden zeitnah am Markt sein.

Es ist jedoch nicht abzusehen, dass in überschaubarer Zeit vom Menschen gelenkte Fahrzeuge vollständig verschwinden werden. Insbesondere in städtischen Bereichen müssen sich auch weiterhin Fahrzeuge den Verkehrsraum mit nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmern teilen – eine strikte Trennung dieser Verkehre würde eine Umgestaltung der Städte erfordern.

»Wir werden über einen erheblichen Zeitraum, wenn nicht für immer, einen Mischbetrieb haben, allein aufgrund der stets vorhandenen Durchmischung mit neueren und älteren Fahrzeugen. Schließlich ist es auch völlig legitim, dass es Leute geben wird, die nicht mit einem autonomen Auto unterwegs sein wollen.«

Ralf Guido Herrtwich,
Leiter Fahrerassistenz- und Fahrwerksysteme in Konzernforschung und Vorentwicklung bei Daimler⁶⁴

Die Wechselwirkungen zwischen automatisiert fahrenden Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern müssen analysiert werden. Dazu gehören sowohl die Untersuchung des Einflusses, den automatisiert fahrende Fahrzeuge auf andere Verkehrsteilnehmer nehmen, als auch die Berücksichtigung von ethischen und gesellschaftlichen Fragestellungen, die sich in diesem Zusammenhang ergeben.

Einfluss auf Verkehrsteilnehmer in konventionellen Fahrzeugen

Fahrerassistenzsysteme und automatisierte Fahrfunktionen – insbesondere im Zusammenwirken mit Anwendungen der C2X-Kommunikation – können potenziell das bisherige rein menschliche Fahrverhalten beeinflussen. Hierin liegen einerseits Vorteile der Automatisierung: Durch schnelleres und dennoch bestmögliches Reagieren sollen Unfälle vermieden und durch vorausschauende Fahrmanöver eine Harmonisierung des Verkehrsflusses erreicht

werden. Andererseits gilt es jedoch auch, negative Nebeneffekte zu vermeiden.

Durch Unterschiede zwischen dem automatisierten und dem menschlichen Verhalten können aus Sicht anderer Verkehrsteilnehmer auch Probleme entstehen:

- Möglich sind Unsicherheiten oder Fehlinterpretationen der menschlichen Verkehrsteilnehmer bei der Abschätzung des Fahrverhaltens automatisiert fahrender Fahrzeuge.⁶⁵ Beispielsweise hat ein vernetztes Fahrzeug u. U. Kenntnis über die Länge der Rotphase einer Lichtsignalanlage und verlangsamt seine Geschwindigkeit bei der Annäherung entsprechend. Dies kann nachfolgende Verkehrsteilnehmer zu zusätzlichen Überholmanövern bzw. Fahrstreifenwechseln veranlassen, was einer Harmonisierung des Verkehrsflusses entgegenwirkt.
- Es besteht die Gefahr, dass eine strengere Regeleinhaltung durch automatisierte Fahrzeuge ebenfalls zu Störungen des Verkehrsflusses führt (siehe Abbildung 44).
- Es ist zu erwarten, dass menschliche Verkehrsteilnehmer eine höhere Reaktionszeit haben und auf automatisierte Fahrmanöver vorausfahrender Fahrzeuge (insbesondere spontanes Bremsen bzw. Ausweichen in Notsituationen) nicht in jedem Fall adäquat und rechtzeitig reagieren.
- Unerwünschte Nachahmefekte sind nicht ausgeschlossen, z. B. könnte ein geringerer Fahrzeugabstand zwischen vernetzten automatisierten Fahrzeugen bewusst oder unbewusst auch von Fahrern in nicht entsprechend ausgestatteten Fahrzeugen übernommen werden.⁶⁶
- Wegen der unterstellten besseren Reaktionsfähigkeit von automatisiert fahrenden Fahrzeugen wäre eine höhere Risikoakzeptanz im Umgang mit diesen Fahrzeugen durchaus denkbar, z. B. knappere Fahrstreifenwechsel.

Auf der anderen Seite ist zu erwarten, dass Folgefahrzeuge eines automatisiert fahrenden bzw. durch Vernetzung beeinflussten Fahrzeugs sich bei hinreichend dichtem Verkehr an dessen Fahr-

verhalten anpassen und so ebenfalls von positiven Wirkungen der Assistenzfunktionen im Hinblick auf Energieeffizienz und Fahrkomfort profitieren können.

Für einige Fahrerassistenzsysteme (z. B. Notbremsassistent⁶⁷) wurde zwar die Interaktion zwischen Fahrern und Fahrzeug detailliert untersucht. Grundsätzliche und umfassende Analysen zum Einfluss des durch Assistenzsysteme veränderten Fahrverhaltens auf andere (menschliche) Verkehrsteilnehmer stellen aber wegen der

Vielfalt und Entwicklungsdynamik der Assistenzfunktionen und ihrer Wechselwirkungen eine Herausforderung dar und sind noch immer Gegenstand der Forschung.

Das EU-Projekt SARTRE (siehe Abschnitt 3.1) untersuchte die Wirkung des Kolonnenfahrens auf andere Verkehrsteilnehmer. Dazu wurden umfangreiche Feldtests zum Platooning mit einem Lkw als Pulkführer und mehreren Pkw als Folgefahrzeuge auf einer Autobahn im öffentlichen Verkehr durchgeführt.

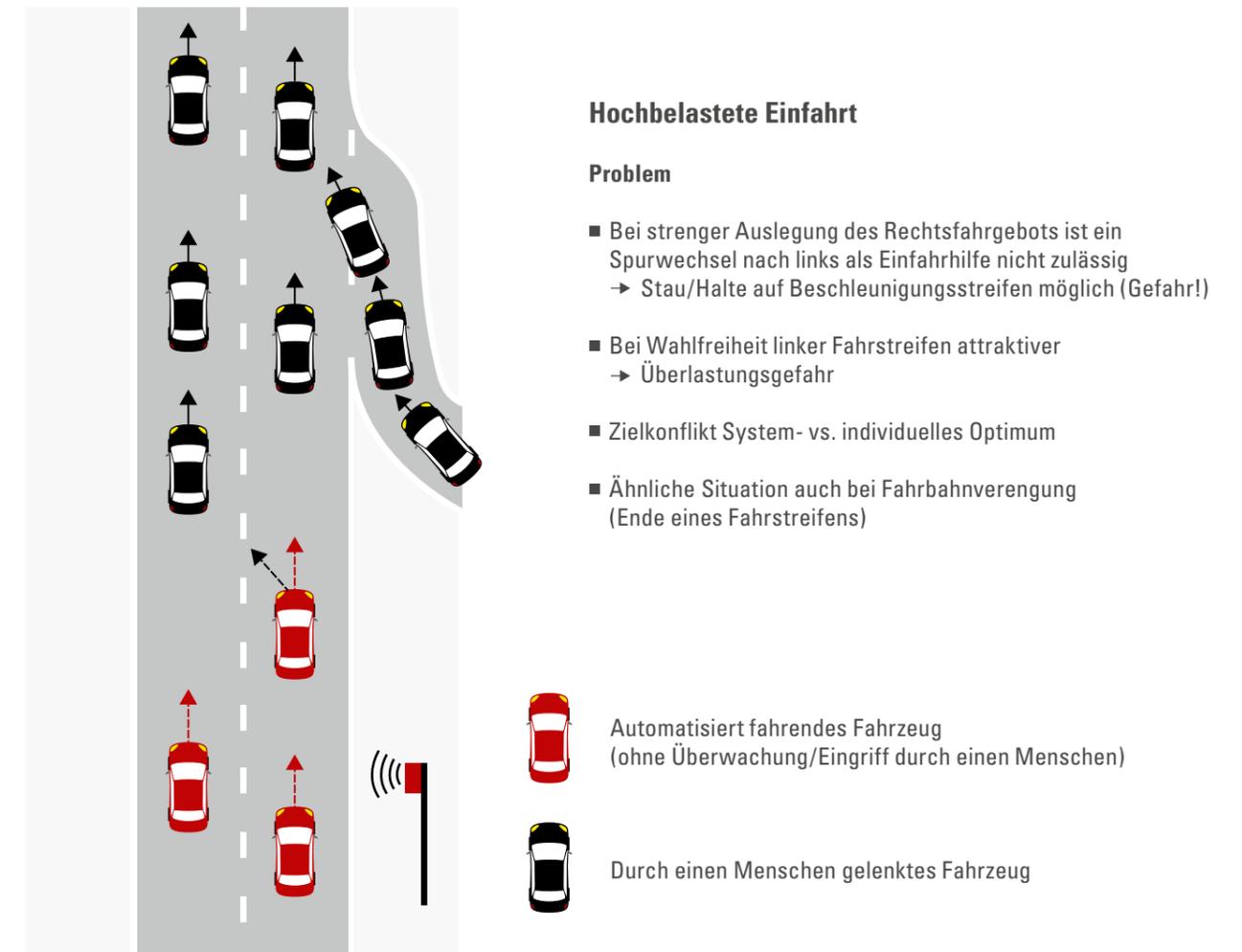


Abbildung 44: Störung des Verkehrsflusses durch strengere Regelbeachtung. (Eigene Darstellung)

⁶⁴ Mercedes (2013a).

⁶⁵ Vgl. Ausserer, K. et al. (2006).

⁶⁶ Vgl. Ausserer, K. et al. (2006).

⁶⁷ Vgl. Neukum et al. (2014).

Kapitel 4

Einfluss auf nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer

Die Wechselwirkungen zwischen nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmern und automatisiert fahrenden Fahrzeugen wurden bereits in Abschnitt 2.6 betrachtet. Dabei geht es im Wesentlichen darum,

- die Signale (Handzeichen usw.) der nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer zu interpretieren,
- sie korrekt in die Fahrzeugsteuerung zu übertragen und
- den anderen Verkehrsteilnehmern das Verhalten des automatisierten Fahrzeugs zu signalisieren.

Auch dabei sind Missverständnisse und daraus resultierendes Fehlverhalten möglich. Darüber hinaus kann sich auch bei nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmern eine erhöhte Risikobereitschaft entwickeln, die auf der Erfahrung beruht, dass automatisierte Fahrzeuge schnell und zuverlässig reagieren. Es ist aber anzunehmen, dass die positiven Auswirkungen der Automatisierung hier ebenfalls überwiegen, solange das Fahrverhalten des automatisiert fahrenden Fahrzeugs für den menschlichen Verkehrsteilnehmer erkennbar und verständlich ist.

Kernergebnis:

Der Mischverkehr und die Interaktion von automatisiert fahrenden Fahrzeugen mit nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmern stellen eine besondere Herausforderung dar. Um die positiven Auswirkungen der Automatisierung nicht zu gefährden, ist es wichtig, dass das Verhalten der automatisiert fahrenden Fahrzeuge für die Menschen erkennbar und möglichst vorhersehbar ist.

Ethische und gesellschaftliche Aspekte

Neben dem Einfluss auf andere Verkehrsteilnehmer und über technische und wirtschaftliche Themen hinaus stehen auch ethische und gesellschaftliche Fragen im Raum. Diese treten insbesondere in niedrigeren Stufen der Automatisierung und im Mischverkehr auf, weil dann möglicherweise Notsituationen und

Unsicherheiten bezüglich des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer unlösbare Situationen für ein automatisiert fahrendes Fahrzeug zur Folge haben.

Infobox:

Akzeptanz von Fehlern

Ein Fehlverhalten eines menschlichen Fahrers, z. B. eine Geschwindigkeitsüberschreitung, wird zwar geahndet, ist aber unter bestimmten Umständen gesellschaftlich akzeptiert. Ein hochautomatisiert fahrendes Fahrzeug, das sich nicht an die Verkehrsregeln hält, wäre dagegen in der öffentlichen Wahrnehmung inakzeptabel. Das gilt auch, wenn das entsprechende Verkehrsschild zum Zeitpunkt der Erfassung durch Hindernisse (z. B. einen parallel fahrenden Lkw) verdeckt war.

Solche Situationen führen dazu, dass der Fahrer aufgefordert wird, die Kontrolle über das Fahrzeug zu übernehmen. Es stellt sich aber die Frage, inwieweit ein Fahrer, der die Steuerung in der überwiegenden Zeit dem Fahrzeug überlässt, dazu noch in der Lage ist. Das betrifft nicht nur die im Abschnitt 2.6 erläuterten Übernahmezeiten, sondern auch die grundsätzliche Eignung zur Führung eines Fahrzeugs. Die Frage, wie diese Fähigkeit erhalten bleibt und welche Regelungen dafür zu treffen sind, ist zu klären, bevor die entsprechenden Stufen der Automatisierung praktisch umgesetzt werden können.

»Ein Roboterauto, das einen Menschen überfahren hat, wird schnell die Akzeptanz verlieren. Damit das Roboterauto akzeptiert wird, muss es also nachweislich wesentlich besser fahren als ein menschlicher Fahrer. Das dürfte grundsätzlich technisch machbar sein. Den Nachweis zu erbringen, dass es tatsächlich so ist, wird aber sehr viel Zeit und Geld verschlingen.«

*Prof. Hermann Winner,
Technische Universität Darmstadt, Professur für Fahrzeugtechnik⁶⁸*

Auch ethische Fragen gilt es zu betrachten. Wie soll ein autonom fahrendes Fahrzeug entscheiden, falls ein Unfall unvermeidlich ist? Wer ist zu schützen, der Fußgänger außerhalb des Fahrzeugs oder die Insassen? In welche Richtung soll das Fahrzeug ausweichen, wenn links und rechts andere Verkehrsteilnehmer betroffen sein werden? Muss die Entscheidung auf Basis einer Risikoabwägung erfolgen oder zufällig? Auch diese Fragen sind zu klären, bevor hoch- oder vollautomatisiert fahrende Fahrzeuge genutzt werden können.

»Es ist einfacher als gedacht, ethische Regeln in selbst fahrende Autos einzubauen. Aber viel schwieriger ist es, zu entscheiden, ob diese ethischen Regeln auch angemessen sind.«

*Prof. Chris Gerdes,
Universität Stanford⁶⁹*

4.5 BEISPIELE AUS ANDEREN VERKEHRS- UND TRANSPORTSYSTEMEN

Parallel zu den Aktivitäten zum automatisierten und vernetzten Fahren im Straßenverkehrssystem, die erst in der Zukunft ihre volle Wirkung entfalten werden, gibt es schon heute Einsatzgebiete in anderen Verkehrs- oder Transportsystemen, in denen sich die Technologien im praktischen Einsatz oder in der Einführungsphase befinden. Es zeichnen sich Anwendungsmöglichkeiten im gewerblichen Bereich mit großem Potenzial ab, weil die Bedingungen für den Einsatz weniger streng oder besser gestaltbar sind und sich Investitionen unmittelbar durch Produktionsfortschritte amortisieren können.

Verkehre auf Werksgeländen

Auch auf Werksgeländen dürfen selbstfahrende Fahrzeuge nur unter Einschränkungen agieren. So ist beispielsweise zu verhindern, dass Mitarbeiter sich in dem Bereich aufhalten, in dem das Fahrzeug sich bewegt. Zumindest muss gewährleistet sein, dass die Mitarbeiter dort geeignet geschützt werden. Da aber derartige Rahmenbedingungen auf abgeschlossenen Werksgeländen

einfacher zu realisieren sind als im öffentlichen Raum, ist hier die Nutzung von Fahrzeugen ohne Fahrer (bzw. selbstfahrenden Arbeitsmaschinen) bereits seit Jahren verbreitet. Es kommen z. B. Gabelstapler, aber auch Kräne, Baumaschinen und Reinigungsfahrzeuge zum Einsatz. Eine Studie der Deutschen Post DHL, die in Zusammenarbeit mit Bosch und dem KIT (Karlsruher Institut für Technologie) erstellt wurde, beleuchtet die Situation auf Werksgeländen (Lager, Anlieferhöfe, Häfen, Flughäfen).⁷⁰ Neben dem Transport werden die Be- und Entladevorgänge automatisiert. Der gesamte Prozess wird zunehmend selbstorganisierend bewerkstelligt, wie es STILL mit Schubmaststaplern zeigt (siehe Abbildung 45).⁷¹ Beispielsweise erkennen die Fahrzeuge selbstständig belastete Routen und adaptieren ihre eigenen Wege.



Abbildung 45: Selbstfahrende Schubmaststapler im Logistikzentrum. (Quelle: © STILL)

Logistik im Luftraum

Verschiedene Paketdienste und Logistikunternehmen erproben die Auslieferung mit unbemannten Flugzeugen (Kopter, Drohnen). Bekannt sind die Pläne von Amazon in den USA sowie die Tests von DHL zur Lieferung von Medikamenten auf die Insel Juist im Sommer 2014. Auch Google arbeitet an der Zustellung per Drohne. Darüber hinaus finden in anderen Teilen der Welt ähnliche Tests statt. In China wurde beispielsweise im Februar 2015 testweise Tee an Kunden eines Online-Shops per Drohne ausgeliefert.⁷²

Noch sind diese Zustelldienste nicht kommerziell nutzbar. Die Luftaufsichtsbehörde der USA hat im Februar 2015 Regeln angekün-

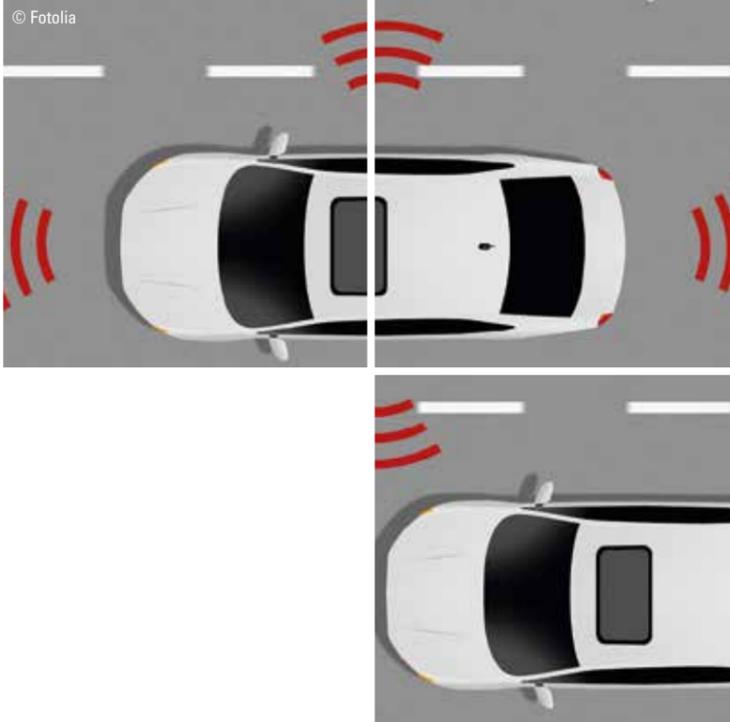
⁶⁸ faz.net (2013).

⁶⁹ Vgl. zeit.de (2014).

⁷⁰ Vgl. DHL (2014).

⁷¹ Siehe <http://www.still.de/23137.0.0.html>

⁷² golem.de (2015c), spiegel.de (2015), siehe auch <http://www.dhl.de/paketkopter>



Kapitel 4

dig, die eine Auslieferung von Paketen erschweren.⁷³ Danach dürfen kommerziell genutzte Drohnen in den USA nicht höher als 150 Meter aufsteigen. Das Gesamtgewicht von Fluggerät und Ladung darf 25 kg nicht überschreiten. Außerdem muss der Pilot jederzeit Sichtkontakt zum Fluggerät haben. Auch in Deutschland muss jeder einzelne Flug angemeldet und gesichert werden. Dennoch zeigt das rege Interesse der beteiligten Firmen, dass hier Potenzial für eine Automatisierung besteht.

Einsatz in der Landwirtschaft

Auch in der Landwirtschaft werden Ansätze zur Automatisierung von Fahraufgaben verfolgt. In einem Forschungsprojekt wurde BoniRob entwickelt: eine Feldmaschine, die eigenständig Pflanzen ansteuert und ihre Eigenschaften erfasst. Andere Fahrzeuge vernichten selbständig Unkraut zwischen Nutzpflanzen oder prüfen den Abstand und die Tiefe von Samen.⁷⁴

Darüber hinaus existieren bereits Platooning-Konzepte für die Landwirtschaft. Von Wissenschaftlern des KIT wurde 2010 das Konzept einer elektronischen Deichsel hierfür entwickelt.⁷⁵ In aktuellen Entwicklungen, z. B. am Fraunhofer IVI, wird ein sogenannter Feldschwarm realisiert: Ein Zugfahrzeug führt eine Gruppe (einen Schwarm) von selbständig folgenden Landmaschinen an.

⁷³ FAA (2015).

⁷⁴ Löwer (2012).

⁷⁵ Vgl. Zhan (2010).

Kapitel 5

ÖKONOMISCHE POTENZIALE – GLOBAL UND REGIONAL

Die für die Realisierung des vernetzten und automatisierten Fahrens notwendigen Technologien sind in Teilen mittlerweile so ausgereift bzw. werden so gut beherrscht, dass seitens der Industrie bereits erste Produkte auf den Markt gebracht bzw. eine Vielzahl von Produkten für die nächsten Jahre angekündigt wurden. Diese werden zunächst in einem Überblick vorgestellt (Abschnitt 5.1).

Diesem „Angebot“ wird gegenübergestellt, welche Faktoren die „Nachfrage“ nach vernetzten und automatisierten Fahrzeugen treiben (Abschnitt 5.2).

Aus einer übergeordneten Perspektive lassen sich diese Produkte bzw. Produktankündigungen verschiedenen Marktsegmenten zuordnen. Diese werden näher beschrieben und charakterisiert (Abschnitt 5.3).

Schließlich wird konkret für den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Baden-Württemberg aufgezeigt, welche Anknüpfungspunkte der regionalen Wertschöpfung heute schon und welche Potenziale zukünftig bestehen (Abschnitt 5.4).

5.1 PRODUKTE UND PRODUKTANKÜNDIGUNGEN

Funktionalitäten des vernetzten und automatisierten Fahrens wurden in den vergangenen Jahren zumeist in Forschungsprojekten demonstriert (siehe Abschnitt 3.1) sowie als Prototypen bzw. Konzeptstudien (siehe Abschnitt 3.3) vorgestellt.

In jüngster Zeit häuft sich jedoch die Ankündigung konkreter Produkte des vernetzten bzw. automatisierten Fahrens. Einige davon sind in Abbildung 46 zusammengefasst. Im Hinblick auf die Fragestellungen, mit welchem Vorlauf und wie schnell (Zeit) etwas (Inhalt) durch wen (Akteur) angeboten wird, lassen sich folgende Aspekte festhalten.

Zeitliche Dimension

Hinsichtlich der Anzahl und der Frequenz der Ankündigungen von Produkten und Funktionen ist ein Anstieg seit dem Jahr 2013 zu verzeichnen.

Ankündigungen neuer Produkte und Funktionen haben meist nur einen zeitlichen Vorlauf von etwa zwei Jahren. Konkretisierungen von Unternehmensstrategien im Hinblick auf die Entwicklung und Ausprägung zukünftiger Produktportfolios über diesen „Prognosehorizont“ hinaus finden sich kaum.

Inhaltliche Dimension

Die identifizierten Produkte lassen sich zu vier Gruppen clustern. Diese Gruppen lassen sich den in Abschnitt 5.3 beschriebenen Marktsegmenten zuordnen (dort finden sich auch konkretere Beschreibungen der Produkte).

Produktankündigungen im Bereich der Fahrzeugvernetzung in umfassenderem Maße begannen im Jahr 2013. Sie wurden bisher jedoch öfter verschoben (z. B. Integration von Apple CarPlay⁷⁶ in die Fahrzeuge der OEM).

Ankündigungen zur Einführung der C2X-Technologie finden sich seitens der europäischen Hersteller, wurden bisher aber lediglich durch den US-amerikanischen Hersteller General Motors konkretisiert.⁷⁷

Produktankündigungen im Bereich des hochautomatisierten Fahrens zeigten sich insbesondere seit der Jahreswende 2014/2015.

Akteursdimension

Produktankündigungen werden bisher durch OEM ausgesprochen. Eine konkrete Produktankündigung bspw. seitens Google gibt es bisher nicht.

Die bisher – im Hinblick auf konkrete Markteintritte – aktiven Akteure sind insbesondere in den USA sowie in Europa (insbesondere Deutschland) beheimatet. Konkrete Produktankündigungen seitens japanischer Hersteller insbesondere im Bereich des automatisierten Fahrens gibt es kaum. Toyota, zweitgrößter Automobilhersteller der Welt, hat zwar ebenfalls ein System des hochautomatisierten Fahrens angekündigt („Advanced Highway Driver Assist“), bleibt aber mit Ankündigungen zur Markteinführung („in der zweiten Hälfte der Dekade“) relativ unkonkret.⁷⁸

⁷⁶ Bereitstellung der Funktionalität, Smartphones der Firma Apple über die Fahrzeuganlage zu bedienen und damit aus dem Fahrzeug heraus auf Mehrwertdienste, wie z. B. Navigation, zuzugreifen.

⁷⁷ Vgl. car-it.com (2013b), NXP (2014) und GM (2015).

⁷⁸ Vgl. caranddriver.com (2014), ibtimes.com (2015) und Toyota (2015).

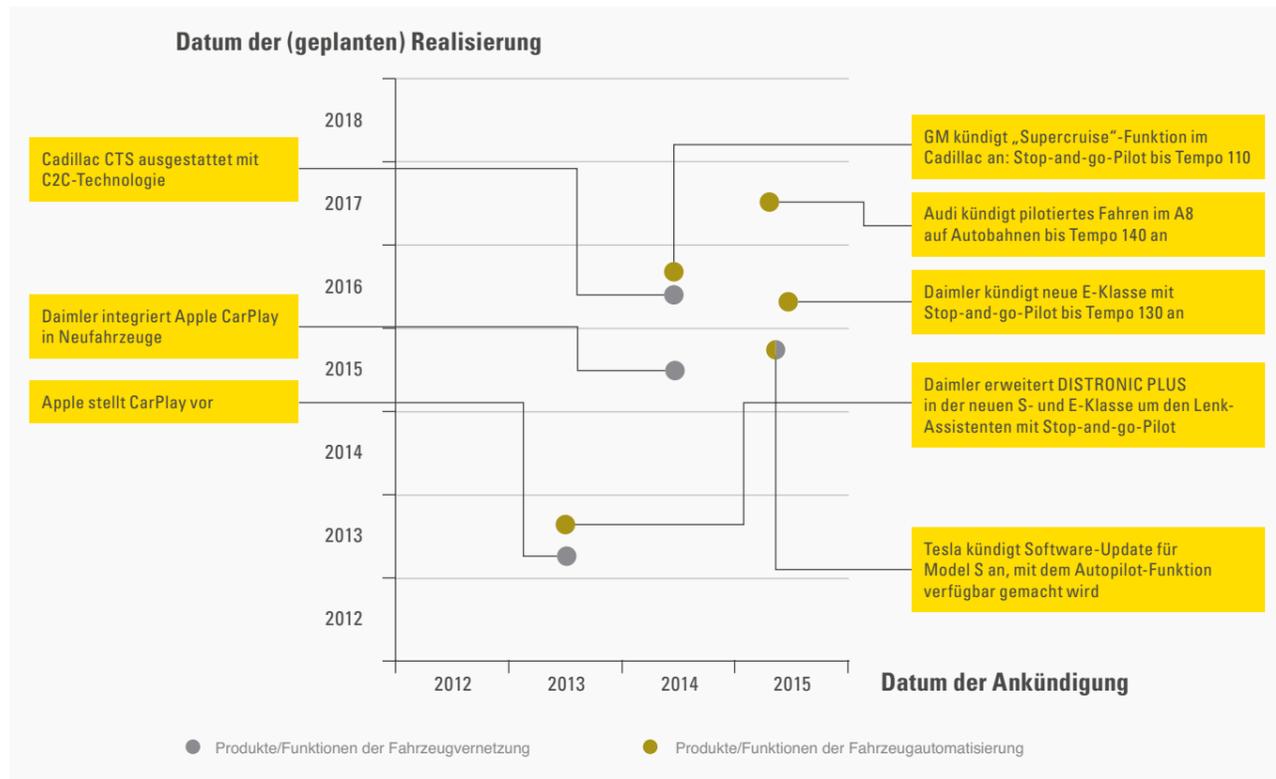


Abbildung 46: Ausgewählte Produkte bzw. Produktankündigungen im Bereich des vernetzten und automatisierten Fahrens. (Eigene Darstellung; Quellen: automobil-produktion.de (2015c), bloomberg.com (2014), GM (2015), golem.de (2015a), heise.de (2014c))

Es zeigen sich Analogien zur bisherigen Entwicklung der Elektromobilität, in der zunächst auch sehr vorsichtig und in überschaubarem Maß Produkte in den Markt gebracht wurden. Dem schloss sich eine zweite, bis heute andauernde Phase an, in der in großer Breite Elektrofahrzeuge für den Endkunden verfügbar gemacht wurden.⁷⁹

Kernergebnis:

Es zeigt sich gegenwärtig eine hohe Dynamik in der Ankündigung konkreter Produkte, insbesondere im Bereich des automatisierten Fahrens. Erste hochautomatisierte Systeme – im Anwendungsbereich Autobahn – werden in den nächsten zwei Jahren verfügbar gemacht. Geprägt wird diese Entwicklung gegenwärtig maßgeblich durch deutsche und US-amerikanische OEM.

5.2 TRENDS UND TREIBER

Eine Reihe von Trends und Treibern determiniert die Nachfrage nach vernetztem bzw. automatisiertem Fahren. Diese Trends und Treiber lassen sich zu zwei Dimensionen zusammenfassen: Zum einen ergibt sich aus einem stärker ausgeprägten Mobilitätsbedürfnis einerseits und umweltpolitischen Rahmenbedingungen andererseits ein Zielkonflikt. Das vernetzte sowie automatisierte Fahren kann einen zentralen Beitrag dazu leisten, diesen Konflikt zu mildern („wirtschafts- und gesellschaftspolitische Dimension“). Zum anderen finden sich zahlreiche Belege dafür, dass eine Reihe von Akteuren sich heute als treibende Kräfte positioniert, um morgen erfolgreich am Markt zu sein bzw. den Markt mitzugestalten („Akteursdimension“). Diese beiden Dimensionen sollen im Folgenden näher vorgestellt werden.

⁷⁹ Vgl. emobil-bw (2015).

Wirtschafts- und gesellschaftspolitische Dimension

Der Grad, zu dem Produkte bzw. Mobilitätsdienstleistungen des vernetzten bzw. automatisierten Fahrens zukünftig eine Nachfrage erfahren, hängt von zwei Aspekten ab. Zum einen von der Entwicklung der Gesamtverkehrsnachfrage und zum anderen von der Antwort auf die Frage, wie Mobilität letztlich realisiert wird – d. h. wie sich die Nachfrage strukturell auf verschiedene Verkehrsträger aufteilt. Im Folgenden wird diese Entwicklung näher für Deutschland skizziert.

Die Entwicklung der Gesamtverkehrsnachfrage hängt im Wesentlichen von der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (siehe auch Abbildung 47) sowie von demographischen Effekten ab. So wie in allen gängigen Prognosen wird das Bruttoinlandsprodukt (BIP) als eine der wichtigsten erklärenden Variablen zur Abschätzung der Verkehrsnachfrage der Zukunft herangezogen. Es besteht eine besonders hohe Korrelation zwischen der BIP-Entwicklung und der Verkehrsleistung im Güterverkehr. Aber auch die Nachfrage im Per-

sonenverkehr wird von der wirtschaftlichen Entwicklung beeinflusst. Wirtschaftliches Wachstum resultiert in einer starken Zunahme des Geschäftsreiseverkehrs. Eine positive wirtschaftliche Entwicklung schlägt sich in der Regel auch in einer Zunahme der Beschäftigung nieder, die sich wiederum in einer Zunahme der Arbeitswege zeigt. Schließlich sind auch steigende Realeinkommen zu erwarten. Höhere Einkommen ziehen auch eine Zunahme der Freizeit- und Einkaufswegen nach sich, die nicht nur in ihrer Anzahl, sondern auch in der Länge ansteigen. Eine positive wirtschaftliche Entwicklung führt also zu einem Anstieg der Verkehrsnachfrage.

Bis zum Jahr 2030 ist in Deutschland von einer weiter wachsenden Verkehrsnachfrage auszugehen. Die Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr wird bis 2050 um 29 % gegenüber 2011 zunehmen.⁸⁰ Beim Personenverkehr bietet sich ein differenziertes Bild: Bis 2025 wird die Verkehrsleistung noch leicht wachsen, danach setzen sich zunehmend demographische Effekte durch und die Nachfrage wird leicht rückläufig sein.⁸¹

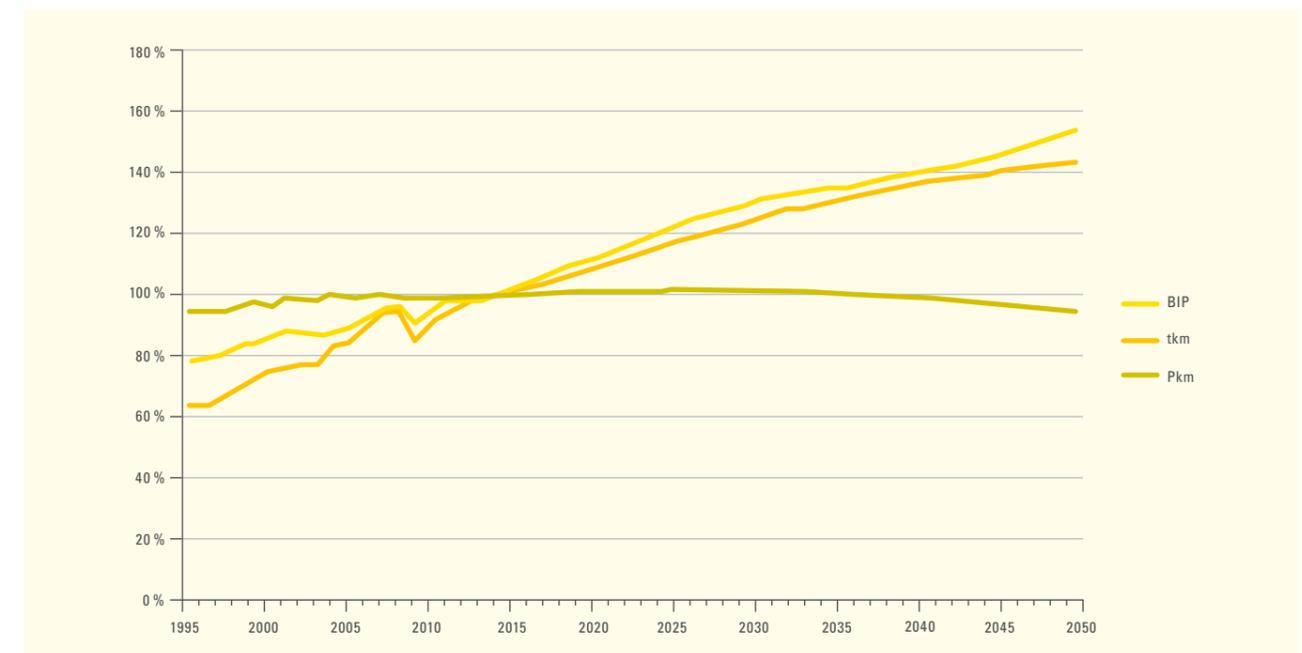


Abbildung 47: Bisherige und antizipierte Entwicklung der Verkehrsnachfrage in Deutschland (Index 2014 = 100 %). (Eigene Darstellung; auf Basis von Prognos World Report 2014 und Prognos World Transport Report 2012/2013)

⁸⁰ Vgl. Shell/Prognos (2014).

⁸¹ Vgl. Shell/Prognos (2014).

Kapitel 5

Im Jahr 2050 wird die Verkehrsleistung im Personenverkehr etwa 4 % unter dem Level von 2011 liegen. Bei den Wegezwecken ergibt sich durch den demographischen Wandel bei gleichzeitig positiver wirtschaftlicher Entwicklung ein sehr heterogenes Bild: Während vor allem im Geschäfts- und Freizeitverkehr ein starkes Wachstum zu erwarten ist, wächst der Pendlerverkehr nur sehr moderat, der Ausbildungsverkehr (geringe relative Bedeutung) nimmt sogar substantiell ab.⁸² Das Plateau im Personenverkehr ist durch die demographische Entwicklung in Deutschland zu erklären. Im globalen Maßstab ist auch im Personenverkehr weiter mit deutlichen Wachstumsraten zu rechnen.

Die Einschätzung, welchen Einfluss bestehende gesellschaftliche Trends wie etwa der demographische Wandel auf

- den motorisierten Individualverkehr im Allgemeinen (1),
- die Nachfrage nach Mobilitätsdienstleistungen im Besonderen (2) sowie
- die Nachfrage nach automatisiertem Fahren im Spezifischen (3)

haben, erfolgt über eine qualitative Wirkungsanalyse. Die Beantwortung der Fragen 2 und 3 geschieht dabei aus der in 1 eingenommenen Perspektive des MIV.

Hierzu wurde zunächst eine Auswahl von Trends aus einschlägigen Quellen zusammengetragen, die die zukünftige Entwicklung des Verkehrs beschreiben. Als Quellen dienten u. a.:

- ifmo: Zukunft der Mobilität⁸³
- Shell Pkw-Szenarien⁸⁴
- BMBF Foresight Zyklus II⁸⁵

In Summe wurden 36 relevante Trends identifiziert. Diese decken die Bereiche Demographie, Soziologie, Verkehr und Wirtschaft ab.

Infobox:
Gesellschaftlicher Trend „sinkender Status des Pkw-Besitzes“

Ein Indikator für diesen Trend ist die rückläufige Zahl der Führerscheinanwärter. Dies ist zum einen auf den demographischen Wandel zurückzuführen, da der Anteil junger Leute, die das Gros der Erwerber ausmachen, relativ und absolut sinken wird. Von größerer Bedeutung für diese Entwicklung ist jedoch, dass der Umfang der und die Vertrautheit mit multimodalen Verkehrsangeboten – die verkehrsträgerübergreifend einen Weg von A nach B ermöglichen – in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen sind.

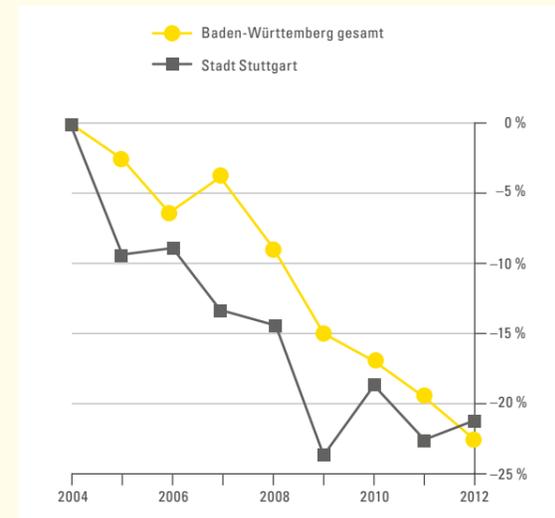


Abbildung 48: Entwicklung des Anteils der Führerscheinanwärter in Baden-Württemberg (Differenz gegenüber dem vorherigen Jahr). (Quelle: Gastel, M. (2014))

Im Rahmen der Wirkungsanalyse wurde die Wirkrichtung der 36 Trends jeweils in Bezug auf die zuvor formulierten drei Fragestellungen eingeschätzt. Die Wirkrichtung kann nicht quantitativ, sondern von der Tendenz her – von „stark hemmend“ bis „stark fördernd“ – erfasst werden.

Eine Übersicht der betrachteten Trends sowie der Bewertungen im Hinblick auf die Fragestellungen findet sich in der folgenden Tabelle.

Bereich	Trend	Verkehrsnachfrage insgesamt	MIV-Nachfrage	Pkw-Nachfrage	Nachfrage Car-Sharing	Vernetztes Fahren	Automatisiertes Fahren
Demographie	Schrumpfende Gesamtbevölkerung	-	-	-	-	0	0
Demographie	Schrumpfende Erwerbsbevölkerung	-	-	--	-	-	-
Demographie	Steigende Anzahl Senioren	-	--	-	--	+	++
Demographie	Sinkende Anzahl Kinder	-	0	-	+	0	-
Demographie	Sinkende Haushaltsgrößen	+	-	-	+	0	0
Demographie	Steigende Lebenserwartung	+	+	+	0	+	+
Demographie	Zunehmende Urbanisierung	-	-	-	+	++	+
Soziologie	Zunehmende ökologische Einstellung	0	--	--	-	+	0
Soziologie	Zunehmende Technikakzeptanz	0	0	0	+	+	++
Soziologie	Wachsende Akzeptanz Sharing	0	0	--	++	+	+
Soziologie	Steigender Wert der digitalen Freizeitnutzung	0	-	0	-	0	++
Soziologie	Zunehmende digitale Vernetzung von Menschen	0	-	-	++	+	++
Soziologie	Sinkender Status des Pkw-Besitzes	0	-	--	+	-	0
Verkehr	Kohorteneffekt alte Generation	+	+	+	-	+	-
Verkehr	Kohorteneffekt junge Generation	+	+	-	+	+	+
Verkehr	Wachsende Multilokalität	++	+	+	-	+	++
Verkehr	Steigende Fixkosten MIV	0	-	-	+	-	--
Verkehr	Steigende Kraftstoffpreise	0	-	-	-	++	+
Verkehr	Steigende Preise ÖV	0	+	+	++	0	0
Verkehr	Abnehmender Führerscheinbesitz	0	-	--	-	-	+
Verkehr	Zunahme von Mobilitäts-Apps	+	-	--	++	++	+
Verkehr	Absteigende Akzeptanz Multimodalität	+	-	-	+	+	0
Verkehr	Effizienzsteigerungen im Verkehr	+	++	+	+	0	0
Verkehr	Zunahme E-Mobility	0	+	-	+	++	+
Verkehr	Integration Verkehr in „Smart Cities“	+	-	-	+	++	+
Verkehr	Zugangsrestriktion MIV in Städten	0	--	--	-	+	-
Verkehr	Strengere Parkraumbewirtschaftung	0	--	-	+	+	++
Verkehr	Strengere Emissionsgesetze	0	-	-	0	0	0
Verkehr	Zunehmende Nutzerfinanzierung der Straßen	0	-	-	-	0	0
Verkehr	Steigende Staugefahr	0	-	-	-	++	0
Verkehr	Wachsender subjektiver Verkehrsstress	-	--	-	-	+	++
Wirtschaft	Steigende reale Einkommen	+	++	++	+	+	++
Wirtschaft	Tertiärisierung der Wirtschaft	+	++	++	+	++	++
Wirtschaft	Zunehmender Online-Handel	-	-	-	0	0	+

Tabelle 7: Überblick der relevanten Trends und deren Bewertung im Rahmen der Wirkungsanalyse. (Eigene Darstellung)

Erläuterung zur Bewertung der Wirkrichtung: „++“ = stark fördernd, „+“ = fördernd, „0“ = keine, „-“ = hemmend, „--“ = stark hemmend; Visualisierung des Gesamtergebnisses für die letzte beiden Doppelspalten siehe Abbildung 50 und Abbildung 52

⁸² Vgl. BVU/ITP/IVV/planco (2014).

⁸³ Das Institut für Mobilitätsforschung (ifmo) entwickelt seit 2005 Szenarien für die Zukunft der Mobilität. Im Jahr 2015 wurden die Szenarien zum dritten Mal aktualisiert und an das Referenzjahr 2035 angepasst.

⁸⁴ Die 26. Ausgabe der Shell Pkw-Szenarien untersucht zum einen die künftige Pkw-Motorisierung und -Nutzung, zum anderen Antriebstechniken, Kraftstoffe, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen des Pkw-Verkehrs in Deutschland bis 2040.

⁸⁵ BMBF (2015a).

Kapitel 5

In der Gesamtschau aller Treiber (durch Auszählen der Wirkrichtungen) kann eine Einschätzung darüber gegeben werden, in welche Entwicklungsrichtung die abzusehenden Trends in der Mehrzahl zeigen.⁸⁶ Die Ergebnisse für alle drei Fragestellungen werden im Folgenden näher beschrieben. Für die Fragestellungen 2 und 3, die im Mittelpunkt des Erkenntnisinteresses stehen, findet sich eine Visualisierung des Ergebnisses in Abbildung 50 und Abbildung 52.

Wendet man diese Analyse auf die Entwicklung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) als Teilmenge der Gesamtverkehrsnachfrage an, so ist zum einen festzustellen, dass viele Trends (z. B. sinkender Status des Pkw-Besitzes, strengere Emissionsgesetze), die keine eindeutige Wirkung auf die Gesamtverkehrsnachfrage aufzeigen, auf die MIV-Nachfrage eine potenziell dämpfende Wirkung haben.

Kernergebnis:

Gesellschaftliche Trends wie „zunehmende ökologische Einstellung“ oder „steigende Akzeptanz von Multimodalität“ bremsen nicht die Nachfrage nach Mobilität an sich, sondern verschieben die Nachfrage eher zugunsten anderer Verkehrsträger bzw. anderer Arten der Organisation und Abwicklung von Verkehren. Sinkende Haushaltsgrößen, die Nutzung „smarter“ Verkehrsangebote sowie ein verstärkter Trend zur Multimodalität werden die Gesamtverkehrsnachfrage potenziell weiter wachsen lassen und gleichzeitig die Nachfrage nach MIV senken.

Im Ergebnis ist ab etwa 2025 mit einer leicht sinkenden Nachfrage im Bereich des Personenverkehrs zu rechnen, die den MIV etwas stärker betreffen wird als andere Verkehrsarten. Trotz zu erwartender leichter Verluste des Pkw innerhalb der Aufteilung der Verkehrsleistungen auf die Verkehrsmittel (sog. Modal Split) bleibt er auch in Zukunft das dominierende Verkehrsmittel im alltäglichen Personenverkehr.⁸⁷

⁸⁶ Diese Vorgehensweise basiert auf der Annahme, dass alle Trends gleichwertig sind.
⁸⁷ Shell/Prognos (2015).
⁸⁸ Vgl. ADAC (2015) und eigene Berechnungen.

Infobox:

Verkehrlicher Trend „steigende Staufahrt“

Steigende Mobilitätsbedürfnisse auf der einen und ein stagnierendes Angebot in Form von Straßenverkehrsinfrastrukturen auf der anderen Seite führen zu immer häufigeren und immer intensiveren Überlastungen des Straßennetzes. Aufgrund der finanziellen Situation von Bund, Ländern und Kommunen, aber auch wegen des geringen gesellschaftlichen Konsenses kann das Straßennetz nicht weiter ausgebaut werden. Diese Überlastung ist in Baden-Württemberg sowohl im außerörtlichen Bereich als auch in den Städten zu sehen. Die Zahl der Stautunden auf deutschen Bundesautobahnen steigt seit Jahren kontinuierlich und hat im Jahr 2014 mit 960.000 Stunden einen Höchstwert erreicht. Davon entfallen 14 % auf Autobahnen in Baden-Württemberg, obwohl das Land nur 8 % des deutschen Autobahnnetzes (gemessen an der Länge der Bundesautobahnen) stellt.⁸⁸ Noch deutlicher wird die Überlastung im städtischen Bereich:

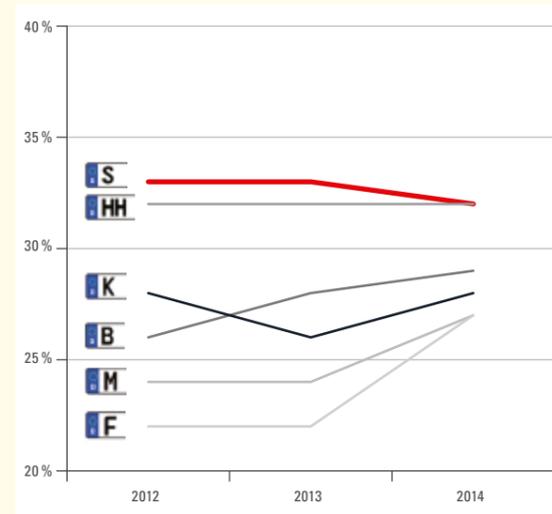


Abbildung 49: TomTom Congestion Index für ausgewählte deutsche Metropolen im Vergleich. (Eigene Darstellung; Quelle: TomTom Congestion Index; Anmerkung: Index misst die durchschnittliche Verlängerung der Fahrzeit tagsüber gegenüber einer Fahrt bei staufreien Nachtstunden)

Auch die Frage, ob die gegenwärtig manifestierten sowie absehbaren Trends eher die Nachfrage nach Mobilitätsdienstleistungen wie Car-Sharing oder nach dem Besitz eines eigenen Fahrzeugs beflügeln, lässt sich auf Basis der qualitativen Wirkungsanalyse beantworten.

Kernergebnis:

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass eine große Menge von Trends darauf hindeutet, dass sich Mobilitätsdienstleistungen auf Kosten von konkreten Mobilitätsprodukten, wie sie im privaten Autobesitz zum Ausdruck kommen, stärker entwickeln werden.

Der zunehmende Wunsch nach größerer Flexibilität ist dabei ein zentraler fördernder Treiber der Nachfrage nach Mobilitätsdienstleistungen. Die Flexibilisierung der Arbeitswelt, sinkende Haushaltsgrößen und zunehmende Urbanisierung sind nur einige Gründe, warum alltägliche Wege anders strukturiert sein werden und sich bisherige Mobilitätsmuster ändern. Zudem setzen sich vor allem in den jüngeren Generationen deutlich pragmatischere und weniger emotionale Motive bei der Verkehrsmittelwahl durch.⁸⁹ Steigende Fixkosten und zunehmende Einschränkungen von privaten Pkw hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit in Abhängigkeit von Zeit und Raum erscheinen vor dem Hintergrund einer wachsenden Sensi-

		Nachfrage Mobilität als Dienstleistung				
		Stark hemmend	Hemmend	Keine	Fördernd	Stark fördernd
Nachfrage Mobilität als Produkt	Stark hemmend		●		●	●
	Hemmend	●	●	●	●	●
	Keine		●		●	
	Fördernd		●	●	●	●
	Stark fördernd				●	

Abbildung 50: Trendwirkung auf die Nachfrage nach Mobilität als Produkt vs. Mobilität als Dienstleistung (aus der Perspektive MIV). (Eigene Darstellung; Ergebnis stellt eine Aggregation der Bewertungen der Wirkrichtung je Trend dar (siehe Tabelle 7); die Kreise sind größenproportional zur Fallhäufigkeit)

⁸⁹ Vgl. ifmo (2014).

bilisierung für Klimaschutz und urbane Lebensqualität durchaus realistisch und verstärken diese Trends zusätzlich. Einer der wichtigsten Gründe für eine stetig wachsende Nachfrage z. B. nach Car-Sharing besteht aber vor allem in der steigenden Verfügbarkeit relevanter Angebote und Informationen durch die Einbindung von Car-Sharing in intermodal verknüpfte Mobilitätsdienstleistungen. Deutlich wird die Entwicklung hin zum „Teilen statt Besitzen“ an der Entwicklung der Car-Sharing-Nutzer in Deutschland. Die Nachfrage hat sich in den vergangenen Jahren sehr positiv entwickelt (siehe Abbildung 51).

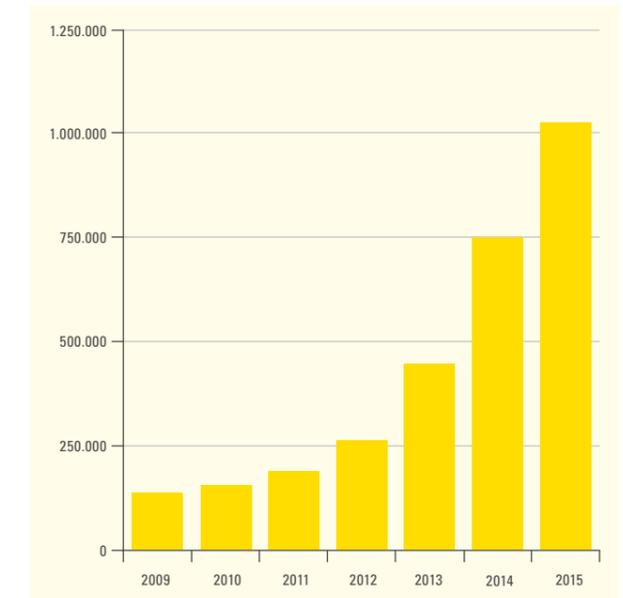


Abbildung 51: Anzahl registrierter Car-Sharing-Nutzer in Deutschland 2009–2015. (Eigene Darstellung; Quelle: Bundesverband Carsharing (2015); Daten (Anzahl Fahrberechtigte) zum Stichtag 01.01. des jeweiligen Jahres)

Diese Entwicklung bestätigt auch die Sicht der interviewten Experten, für die die Grenzen zwischen dem Individual- und dem öffentlichen Verkehr zunehmend verschwimmen. Die qualitative Wirkungsanalyse lässt sich darüber hinaus auf die Frage anwenden, inwiefern und in welcher Richtung die gegenwärtigen Trends die Nachfrage nach dem vernetzten bzw. dem automatisierten Fahren beeinflussen. Das Ergebnis fasst Abbildung 52 zusammen. Auffallend ist zum einen die sehr geringe Anzahl von Trends, die eine Einführung dieser Anwendungen hemmen. Ein Rückgang der Erwerbs-

Kapitel 5

bevölkerung könnte ein solcher Grund sein, da bei einem Wegfall der besonders zeitkritischen Reisemotive die Tendenz besteht, dass eher preisgünstige Verkehrsmittel (z. B. Fahrräder) nachgefragt werden als schnellere und komfortablere (vgl. Entwicklung Fernbusmarkt).

Auf der anderen Seite ist ein starkes Übergewicht in der Matrix auf Seiten der positiv wirkenden Faktoren auf die Nachfrage sowohl nach vernetztem als auch nach automatisiertem Fahren zu erkennen. Insbesondere wirtschaftliche Effekte, zunehmende Belastungen im Verkehrssystem und eine zunehmende Offenheit der Gesellschaft gegenüber einer steigenden Technisierung sind die Haupttreiber, die beiden Segmenten eine starke Nachfrage sichern werden. Dabei wird sichtbar, dass die Trends tendenziell stärker in Richtung automatisiertes Fahren zeigen. Zum Beispiel können durch fahrerloses Fahren Nutzergruppen erschlossen werden, denen Voraussetzungen zum Steuern eines Fahrzeugs fehlen (alte und beeinträchtigte Menschen, Kinder, Führerscheinlose).

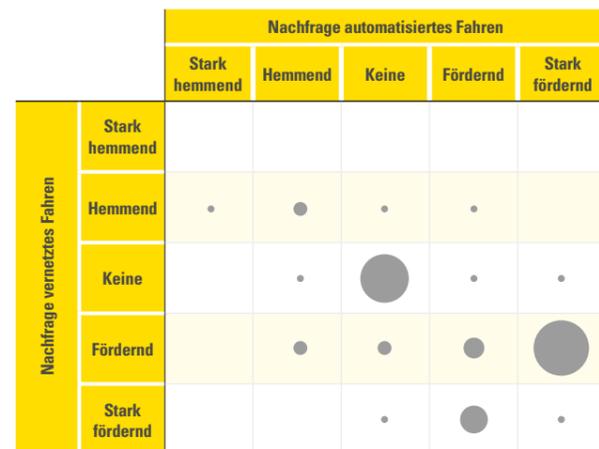


Abbildung 52: Trendwirkung auf die Nachfrage nach vernetztem Fahren vs. automatisiertem Fahren (aus der Perspektive MIV). (Eigene Darstellung; Ergebnis stellt eine Aggregation der Bewertungen der Wirkrichtung je Trend dar (siehe Tabelle 7); die Kreise sind größenproportional zur Fallhäufigkeit)

Kernergebnis:

Die identifizierten Trends, die zukünftige Mobilitätsbedürfnisse prägen, haben eine stark fördernde Wirkung auf die Anwendungen des vernetzten und automatisierten Fahrens. Dabei wirken Trends noch stärker auf die Nachfrage nach dem automatisierten Fahren als auf jene nach dem vernetzten Fahren.

Akteursdimension

Es lassen sich vier Gruppen von Akteuren identifizieren, die die Markteinführung von vernetztem bzw. automatisiertem Fahren vorantreiben bzw. begleiten. Dies umfasst neben den Produktanbietern auch die Politik und die Verwaltung, die fördernde bzw. hemmende Rahmenbedingungen schaffen. Auch der Forschung kommt eine zentrale Rolle zu. Darüber hinaus werden die ökonomischen Potenziale der Technologien durch Beratungsunternehmen sowohl für die Anbieter als auch für die interessierte Öffentlichkeit greifbar gemacht. Diese vier Gruppen werden im Folgenden näher vorgestellt.

Im Zentrum stehen hier zunächst die global agierenden Unternehmen der **Automobil- und IKT-Branche**, die die technologische Entwicklung bisher maßgeblich vorangetrieben haben und die mit ersten Produkten bzw. Produktankündigungen das vernetzte und automatisierte Fahren tatsächlich greifbar und erlebbar machen (siehe Abbildung 46).

Die Entwicklung des vernetzten und automatisierten Fahrens sowie die Umsetzung in konkrete Produkte hat die Aufmerksamkeit und das Engagement neuer Akteursgruppen insbesondere aus dem Wirtschaftsbereich der IKT geweckt, die bisher nur bedingt oder gar nicht in der Automobilwirtschaft bzw. im Mobilitätsbereich aktiv waren. IKT-Unternehmen treten verstärkt in die Automobilwirtschaft ein.⁹⁰ OEM und Zulieferer im Automobilbereich stehen daher vor der Herausforderung, angestammte Marktpositionen zu verteidigen bzw. neue Positionen in Wertschöpfungsketten einzunehmen.⁹¹ Neuen Kooperationsbeziehungen – auch branchenübergreifend – kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu.⁹² Im Bereich der (vorwettbewerblichen) Forschung wurde und wird dies bereits umfassend und erfolgreich praktiziert (siehe Abschnitt 3.1).

Ein Überblick ausgewählter Beispiele für solche Kooperationsbeziehungen, mit denen das Ziel der gemeinsamen Erschließung wirtschaftlicher Verwertungspotenziale im Bereich des vernetzten bzw. automatisierten Fahrens verfolgt wird, findet sich in Tabelle 8.

Zeitpunkt	Akteursgruppe					Ziel	Weg
	OEM	Zulieferer	Netzbetreiber	„Digital Player“	Dienstleister		
2009	Audi	Gigatronik				Entwicklung von System-Software für Fahrerkelekttronik, wie Stabilitäts- und Fahrerassistenzsysteme oder Systeme für pilotiertes Fahren	Gründung Joint Venture „EFS“ (Elektronische Fahrwerksysteme GmbH)
2009	Audi	Elektrobit				Entwicklung hochkomplexer Infotainment-Lösungen	Gründung Joint Venture „esolutions“
2013	Volkswagen				Allianz	Entwicklung von individuellen Angeboten auf Basis fahrzeug- und fahrprofilbezogener Daten	Gründung eines Joint Venture („Volkswagen Autoversicherung AG“)
2013	Daimler					Bündelung der Mobilitätsdienstleistungen (moovel, car2go) in eigenständigem Unternehmen Beteiligung u. a. an GottaPark Inc. USA (Diensteanbieter für Online-Reservierung von Parkplätzen) Übernahme von myTaxi (2014)	Gründung der „Daimler Mobility Services GmbH“
2013	Daimler		T-Systems			Entwicklung von neuen Online-Diensten und Web-Applikationen im Fahrzeug Telekom entwickelt Kommunikationsinfrastruktur für heutige Mehrwertdienste, in künftigen Baureihen Ausstattung mit besonderen SIM-Chips für ausreichende mobile Übertragungskapazitäten	Entwicklungspartnerschaft
2014	Volkswagen			Blackberry		Übernahme Forschungs- und Entwicklungszentrum in Bochum mit dem Ziel, Kompetenz im Sektor „Fahrzeug Connectivity“ auszubauen	Überführung in „Volkswagen Infotainment GmbH“
2015	PSA			IBM		Entwicklung von Connected Car Services	Entwicklungspartnerschaft
2015			Telekom China Mobile			Erschließung des chinesischen Marktes für Produkte und Dienste für das vernetzte Fahrzeug auf Basis von bestehender Telematik-Kompetenz (Telekom) sowie Highspeed-Mobilfunknetz, Marktzugang und Vertriebskanäle (China Mobile)	Gründung eines Joint Venture
2015		Continental			D’Ieteren	Entwicklung und Angebot von Car-Sharing-Diensten Entwicklung von Fahrzeugschlüsseln, die rein virtuell existieren und drahtlos über das Mobiltelefon übertragen und genutzt werden können	Gründung Joint Venture „OTA keys“
2015	Daimler	Bosch				Gemeinsame Entwicklung im Bereich des automatisierten Einparkens	Entwicklungspartnerschaft
2015		Bosch		TomTom		Entwicklung von Karten für hochautomatisiertes Fahren	Entwicklungspartnerschaft
2015	Daimler BMW Audi			Nokia HERE		Entwicklung von Karten für hochautomatisiertes Fahren	Übernahme durch deutsche Premiumhersteller

Tabelle 8: Institutionalisierung ausgewählter Akteurskooperationen im Bereich des vernetzten und automatisierten Fahrens. (Eigene Darstellung; Quellen: augsburger-allgemeine.de (2013), automobil-produktion.de (2015a), automobil-produktion.de (2015b), Bosch (2015), car-it.com (2013a), Daimler (2013), gummibereifung.de (2015), heise.de (2014a), heise.de (2014b), T-Systems (2013), zeit.de (2015))

Anmerkung: hellorange = im Bereich der Fahrzeugvernetzung, orange = im Bereich des automatisierten Fahrens

⁹⁰ Vgl. McKinsey (2014) und PwC (2014).

⁹¹ Vgl. u. a. Wyman (2013), McKinsey (2014).

⁹² Roland Berger (2012a) spricht hier von Entwicklungen „von geschlossenen zu offenen Ökosystemen“ bzw. „von Ketten zu Netzwerken“.

Kernergebnis:

Es zeigt sich, dass sich die Entwicklung hin zu Akteurskooperationen, wie sie im Bereich der Forschung und Entwicklung bereits gelebt werden, fortsetzt. Strategische Kooperationen sind mittlerweile auch in den Bereichen der Produkt- bzw. Dienstleistungsentwicklung, der Produktion sowie des Vertriebs zu sehen. Dies betrifft Aktivitäten sowohl im Bereich des vernetzten als auch des automatisierten Fahrens. Auch ist zu beobachten, dass die Dynamik in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen hat.

Dabei lassen sich unterschiedliche Formen der „Institutionalisierung“ der Kooperation identifizieren. Sie reichen von informellen (Partnerschaften) bis hin zu sehr formalen Lösungen (Gründung von Joint Ventures). In Teilen sind auch Aus- bzw. Neugründungen von Unternehmen zu beobachten.⁹³

Ein Blick auf die aktuellsten Entwicklungen zeigt, dass insbesondere der digitalen Karte (siehe auch Ausführungen in Abschnitt 2.4) als technologischem Enabler eine zentrale Rolle beigemessen wird.

Neben den Akteuren aus der Wirtschaft nutzen auch die Akteure aus **Politik und Verwaltung** ihren Spielraum, um die Markteinführung des vernetzten und automatisierten Fahrens mitzugestalten. Hier lassen sich verschiedene Arten von Interaktionen unterscheiden:

- die Verabschiedung von Gesetzen, die unmittelbar die Einführung solcher Systeme zur Folge haben bzw. die Anreize für den Erwerb solcher Systeme schaffen,
- die Schaffung von (finanziellen) Anreizen, um die Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen des vernetzten bzw. automatisierten Fahrens zu forcieren,
- die Initiierung von Gremien, die diesen Prozess begleiten.

Die stärkste Wirkung weisen Gesetze auf. Sie schaffen im Verkehrsbereich zum einen Voraussetzungen für den Einsatz bestimmter Technologien. Dies umfasst u. a. die Gestaltung des Rechtsrahmens, der beschreibt, unter welchen Rahmenbedin-

gungen der Einsatz vernetzter bzw. automatisierter Fahrzeuge zulässig ist. An dieser Stelle sei auf die spezifischen Ausführungen in Kapitel 6 verwiesen.

Zum anderen zielen Gesetze darauf ab, schadhafte Wirkungen auf die Gesellschaft, die der Verkehr impliziert, zu minimieren.

Ein Beispiel für eine gesetzgeberische Maßnahme zur Vernetzung ist die Einführung des eCall-Systems. Ab dem 31.03.2018 sind alle Automobilhersteller verpflichtet, Neufahrzeuge damit auszustatten. Zur Senkung der Zahl der Verkehrstoten und zur Reduktion der Schwere von Verletzungen im Straßenverkehr kann eine automatisierte Weitergabe relevanter Informationen im Falle eines Unfalls (u. a. Position des verunfallten Fahrzeugs) an eine Notrufzentrale wesentlich beitragen. Rettungsmaßnahmen können so rascher initiiert werden. Es wird davon ausgegangen, dass auf diese Weise die Zahl der Unfalltoten um 10 % pro Jahr verringert werden kann.⁹⁴

Infobox:
eCall-Technologie und deren Anwendungspotenziale

Technologisch bedingt die Einführung von eCall die Ausstattung von Fahrzeugen u. a. mit Mobilfunkmodul und einem Ortungsmodul (Basis: Galileo). Die verabschiedete europäische Verordnung ermöglicht, parallel zum oder aufbauend auf dem bordeigenen eCall-System umfangreiche Zusatzdienste anzubieten. Bereits heute ist eine Vielzahl von Lkw mit solchen Modulen ausgestattet, um automatisiert über das System von Toll Collect die Mauthöhe erfassen und abrechnen zu lassen. Das deutsche Mautgesetz lässt die Abwicklung solcher Zusatzdienste über diese On-board-Hardware jedoch nicht zu.

Der Verkehr verursacht in Deutschland etwa 18 % der nationalen CO₂-Emissionen. Der Straßenverkehr ist aufgrund seiner enormen Verkehrsleistung für 95 % dieser Emissionen im Verkehrssektor verantwortlich.⁹⁵

Im Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 wird gefordert, dass die Treibhausgas-Emissionen bis 2020 um 40 % gegenüber 1990 sinken sollen. Konkrete CO₂-Minderungsziele für den Verkehrssektor bestanden in diesem Rahmen auf nationaler Ebene in Deutschland nicht. Erst 2014 wurden die Ziele beim Verkehr im Rahmen des „Aktionsprogramms Klimaschutz 2020“ konkretisiert. Danach ist eine Einsparung von 7 bis 10 Mio. t CO₂ bis 2020 im Verkehr vorgesehen – dies entspricht einer Reduktion um maximal 6 %. Bis 2050 sollen 40 % weniger CO₂ emittiert werden als 2005, entsprechend einer Senkung von etwa 60 Mio. t.⁹⁶ Dabei werden vor allem Effizienzsteigerungen und die Elektrifizierung der Antriebe als wichtige Schlüssel angesehen. So sollen bis 2020 1 Mio. Elektrofahrzeuge auf den Straßen sein, bis 2030 soll ihre Zahl auf 6 Mio. angestiegen sein. Generell ist feststellbar, dass die propagierten Lösungen der Bundesregierung zur CO₂-Minderung stark technologiegetrieben sind. Maßnahmen, die auf strukturelle, organisatorische oder ordnungspolitische Änderungen des Sektors abzielen, stehen weniger im Fokus.

Auf europäischer Ebene sind die Ziele für den Verkehr deutlich ambitionierter gefasst. Bis 2050 sollen die Emissionen um 60 % gegenüber 1990 sinken.⁹⁷ Im Gegensatz zur Strategie der Bundesregierung stehen weniger technologische Lösungen zur Erreichung dieser Ziele im Fokus, sondern die Herstellung der Kostenvorkehr nach dem Verursacherprinzip soll hier die nötigen Impulse liefern. Dazu müssten finanzielle Instrumente geschaffen werden, die den CO₂-Emittenten zusätzliche Kosten proportional zu ihren Emissionen auferlegen. Die Integration des Verkehrs in ein Emissionshandelssystem wäre eine denkbare Maßnahme in diesem Zusammenhang.

Im Verlauf der letzten Jahre stellen sich die Emissionen im Verkehr relativ konstant dar, während alle anderen Sektoren deutliche Reduktionen aufweisen können.

Die von der Politik geforderten Senkungen der Emissionen im Verkehr werden schwierig zu erreichen sein. Selbst wenn die Stagnation im Personenverkehr im Zusammenspiel mit fortschreitenden

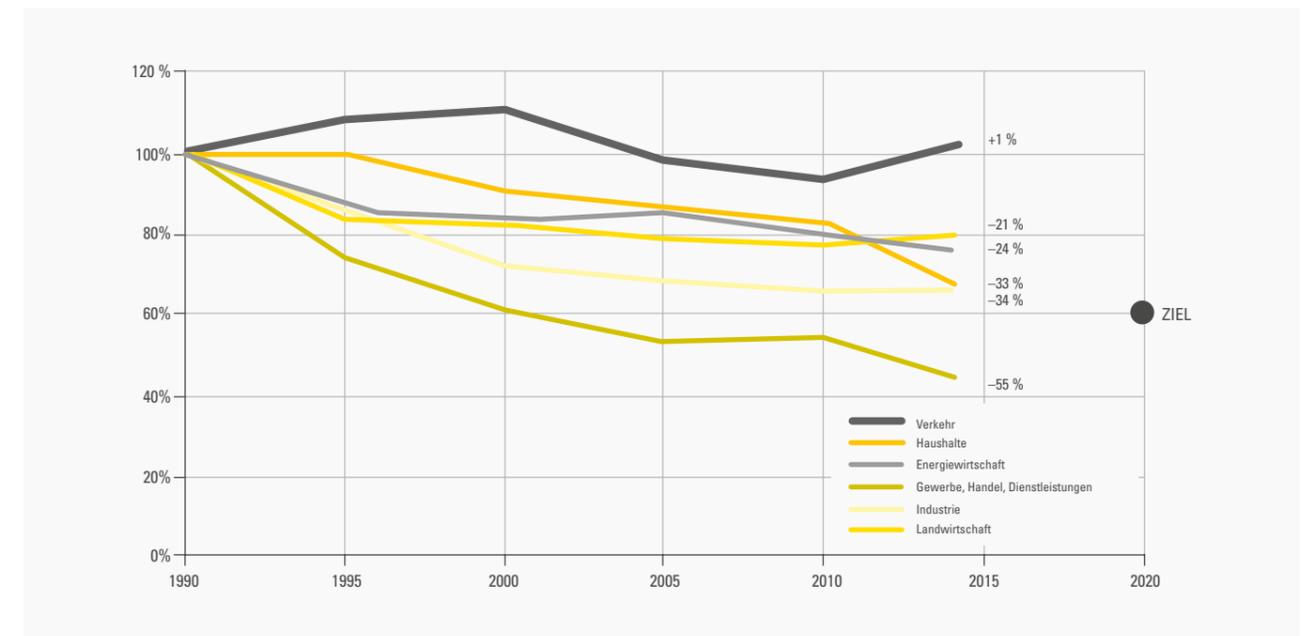


Abbildung 53: Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren (Index 1990 = 100 %). Anmerkungen: Werte für 2014 = Prognose. Ziel der Bundesregierung: Senkung der gesamten CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2020 um 40 % unter das Niveau von 1990. (Quelle: Allianz pro Schiene (2015))

⁹³ Dies spiegelt eine Entwicklung wider, die bspw. durch das Forschungsinstitut fortiss im Rahmen der Studie „Mehr Software (im) Wagen“ – als Ergebnis eines BMWi-geförderten Verbundvorhabens „eCar-IKT-Systemarchitektur für Elektromobilität“ – als Handlungsempfehlung abgeleitet wurde. Dort wird – bezogen auf den Anwendungsbereich Elektromobilität – explizit die Empfehlung ausgesprochen, autonome Organisationseinheiten zu gründen, um den notwendigen Raum für disruptive Innovationen für schaffen (vgl. fortiss (2013)).

⁹⁴ Vgl. Europäisches Parlament (2015).

⁹⁵ Vgl. BMU (2014a).

⁹⁶ Vgl. BMU (2014b).

⁹⁷ Vgl. Europäische Kommission (2011).

Kapitel 5

Effizienzsteigerungen einen deutlichen Effekt haben wird, geht eine Prognose von Prognos/EWI/gws davon aus, dass die CO₂-Emissionen im Verkehr bis 2050 lediglich halbiert werden können. Eine zentrale Grundannahme dieser Studie ist eine fortschreitende, jedoch deutlich langsamere Diffusion von reinen Elektroantrieben, als dies von der Bundesregierung propagiert wird. So wird die oft zitierte Zielmarke der Bundesregierung von 1 Mio. Elektrofahrzeugen nicht im Jahr 2020, sondern erst 2025 erreicht. Damit würden die moderaten nationalen Ziele für den Verkehrssektor mit Hilfe der absehbaren technologischen Entwicklungen zwar erreicht, die ambitionierteren internationalen Ziele aber um etwa 10 Prozentpunkte verfehlt werden.⁹⁸

Der große Anteil des Straßenverkehrs an den CO₂-Emissionen des Verkehrssektors impliziert, dass substantielle Einsparungen vor allem hier erreicht werden müssen. Das weiterhin enorme Wachstum der Güterverkehrsleistung bietet kaum Einsparmöglichkeiten; hier kann bestenfalls eine Stagnation der Emissionen als Ziel formuliert werden. Somit bleibt der Straßenpersonenverkehr die potenzialreichste Stellschraube in der Klimapolitik des Verkehrssektors. Die Verfügbarkeit und Verbreitung von weniger CO₂-intensiven Technologien im Pkw-Bestand wird einen deut-

lichen Einfluss darauf haben, inwieweit die gesteckten Ziele erreicht werden können. In diesem Kontext ist die weitere Diffusion der Elektromobilität ein bedeutender Parameter. Darüber hinaus muss aber auch die Frage gestellt werden, ob der Verkehrssektor die nötigen Ziele erreichen kann, indem lediglich technologische Lösungen gefunden werden. Die vor allem global starken Wachstumsraten deuten darauf hin, dass auch strukturelle Aspekte des Verkehrs (Vermeidung und Verlagerung) deutlich stärker in den Blick genommen werden müssen. Dass das vernetzte und das automatisierte Fahren hierzu auch beitragen können, wurde in Abschnitt 4.3 ausführlicher dargestellt.

Die Politik nimmt des Weiteren eine aktive Rolle ein, indem sie finanzielle Mittel für die Durchführung von FuE-Tätigkeiten bereitstellt. Während der Fokus der (nationalen) Forschungsförderung in den vergangenen Jahren insbesondere dem vernetzten Fahren galt (siehe Tabelle 5 in Abschnitt 3.1) wird mittelfristig der Förderung von FuE-Aktivitäten rund um die Thematik der Fahrzeugautomatisierung größere Aufmerksamkeit beigemessen (siehe nachfolgende Tabelle).

Fördergeber	Programm bzw. Förderrichtlinie	Budget
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)	Förderrichtlinie „Mensch-Technik-Interaktion (MTI) für eine intelligente Mobilität“ vom 05.05.2015	k. A.
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)	Förderrichtlinie „Elektroniksysteme für das voll-automatisierte Fahren (ELEVATE)“ vom 23.07.2015	k. A.
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)	Fachprogramm „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ vom 12.06.2015	ca. 50 Mio. EUR p. a.
Europäische Kommission	Call „Safe and connected automation in road transport“ (MG-3.6b-2015) im Programm „Mobility for Growth 2014–2015“ vom 24.06.2015	18,5 Mio. EUR

Tabelle 9: Neue Akzente in der Forschungsförderung im Bereich des automatisierten Fahrens. (Eigene Darstellung; Quellen: BMBF (2015b), BMBF (2015c), BMWi (2015a), Europäische Kommission (2015))

⁹⁸ Vgl. Prognos/EWI/gws (2014).

Auftraggeber	Titel	Laufzeit
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)	Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen – industriepolitische Schlussfolgerungen	Laufend
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)	Infrastrukturbedarf automatisierten Fahrens	Laufend
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)	Potenzieller gesellschaftlicher Nutzen durch zunehmende Fahrzeugautomatisierung	ab Herbst 2015
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)	Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern: Einfluss zunehmender Fahrzeugautomatisierung	Voraussichtlich ab November 2015

Tabelle 10: Ausgewählte von der öffentlichen Hand ausgeschriebene Studien zur Einführung des vernetzten bzw. automatisierten Fahrens. (Eigene Darstellung)

Darüber hinaus „beobachten“ Politik und Verwaltung die aktuellen Entwicklungen. So wurde beispielsweise durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im November 2013 ein runder Tisch einberufen. In diesem Gremium soll mit allen an der Einführung von Systemen des automatisierten Fahrens beteiligten Akteuren (Ministerien, Behörden, Forschungseinrichtungen, Fahrzeugindustrie, Verkehrssicherheitsakteure, Überwachungsorganisationen) eine national abgestimmte Position zu einer Vielzahl rechtlicher, technischer und wissenschaftlicher Fragen erarbeitet werden.⁹⁹

Des Weiteren wurden und werden durch die Bundesressorts bzw. nachgeordnete Behörden, z. B. die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), eine Reihe von Studien mit unterschiedlichen inhaltlichen Schwerpunkten in Auftrag gegeben. Ergebnisse dieser Studien liegen gegenwärtig noch nicht vor.

Durch die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), die eng mit dem BMVI sowie der BASt zusammenarbeitet, wurde zum 16.06.2015 der Arbeitskreis „Automatisiertes Fahren“ gegründet, der die Vorbereitungs- und Einführungsphasen des automatisierten Fahrens beobachten und aus Sicht der FGSV kommentieren und Handlungserfordernisse identifizieren soll.¹⁰⁰

⁹⁹ Vgl. Deutscher Bundestag (2014).

¹⁰⁰ Siehe <http://www.fgsv.de/2165.html>

Die Rolle der **Forschung** wurde bereits in Kapitel 3 ausführlich dargestellt.

Eine weitere, mittelbare Akteursgruppe stellen die großen **Beratungsunternehmen** dar. Sie treten zum einen als externe Berater für Unternehmen in Erscheinung und zeigen strategische Entwicklungsoptionen im Bereich des vernetzten und automatisierten Fahrens auf. Zum anderen analysieren, prognostizieren und publizieren sie aber auch aus einer übergeordneten Perspektive die technologischen und ökonomischen Entwicklungen und leiten Chancen und Risiken ab. Dies findet Niederschlag in einer Vielzahl von Publikationen.

Auch hier zeigt sich eine hohe Dynamik insbesondere seit dem Jahr 2012. Zentrale Ergebnisse dieser Studien finden Eingang in die Beschreibung und Charakterisierung der Marktsegmente.

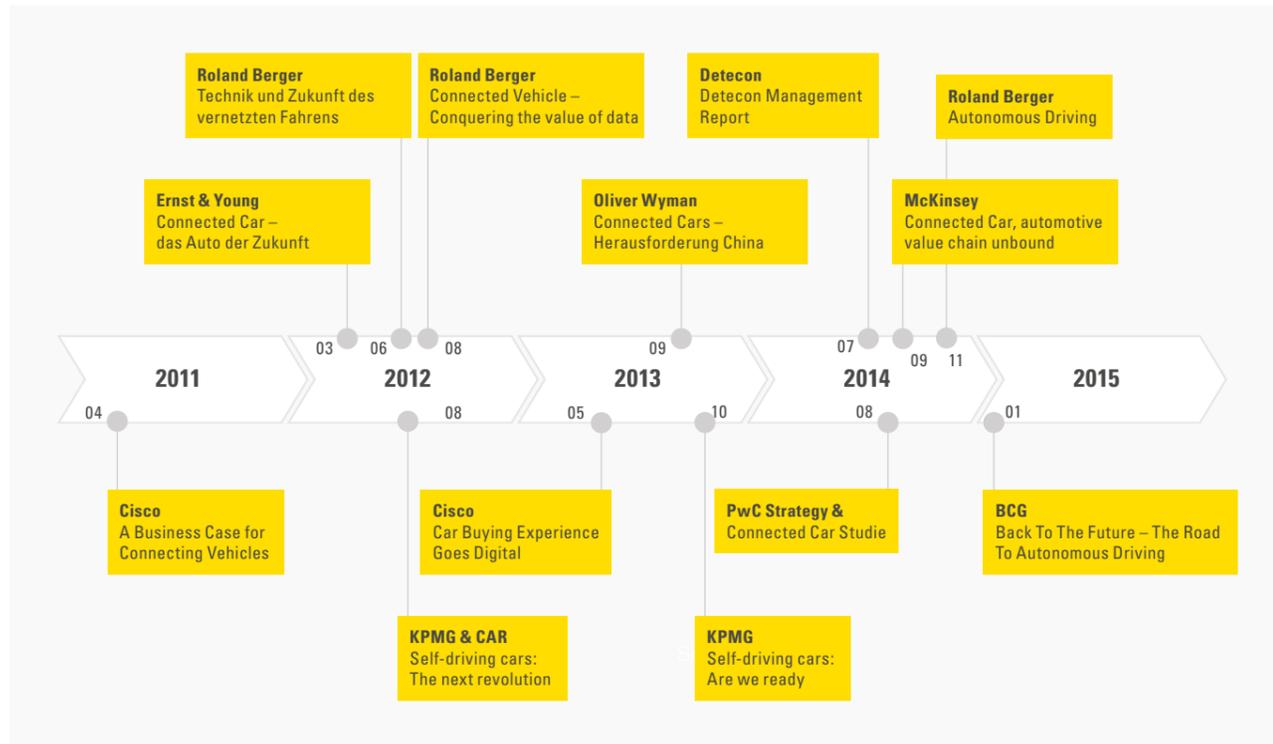


Abbildung 54: Ausgewählte inhaltliche Beiträge großer Beratungshäuser. (Eigene Darstellung)

5.3 CHARAKTERISIERUNG RELEVANTER MARKTSEGMENTE

Die in Abbildung 54 genannten Studien beschreiben die Ausprägung und Entwicklungsperspektiven verschiedener Marktsegmente, in die sich auch die genannten Produkte und Produktankündigungen (siehe Abbildung 46) einordnen lassen.

Die Durchdringung von Fahrzeugen mit Informations- und Kommunikationstechnologien, die eine Vernetzung und/oder Automatisierung von Fahrfunktionen erlaubt, führt aus wirtschaftlicher Perspektive zu neuen Umsatzpotenzialen durch den Verkauf von Hardware (Konnektivität, Sensorik, Aktorik und Software sowie die Bereitstellung von Diensten (B2B, B2C, B2B2C)). Neben der Beschreibung dieser Umsatzpotenziale werden in den Studien Einführungsszenarien für spezifische Produkte, Funktionen oder

Anwendungen mit einer zeitlichen Perspektive zumeist bis zum Jahr 2030 skizziert.

Im Hinblick auf den Untersuchungsgegenstand dieser Studie lassen sich vier Marktsegmente identifizieren. In Tabelle 11 werden diese zunächst einmal im Überblick aufgezeigt. Die Reihenfolge der Auflistung, die auch für die folgende Beschreibung beibehalten wird, entspricht der Reihenfolge der erwarteten Marktdurchdringung in der Breite.

Zunächst ist mit einer Fahrzeugvernetzung über Mobilfunk, einer Technologie, die heute schon in einem beträchtlichen Teil aller Neufahrzeuge verfügbar ist, zu rechnen. Bis zum Jahr 2030 wird sich dies zum Standard in allen Neufahrzeugen entwickeln. Vollautomatisiert fahrende Fahrzeuge werden im Gegensatz dazu nicht

vor dem Jahr 2025 erwartet. Sie werden auch im Jahr 2030 erst einen geringen Anteil an der Neufahrzeugflotte haben.

Für die jeweiligen Marktsegmente werden – in Absolutzahlen gemessen – sehr unterschiedlich große Umsatzpotenziale prognostiziert (siehe Tabelle 11). Aufgrund verschiedener Betrachtungsperspektiven (z. B. der Betrachtung von Produkten und Dienstleistungen auf der einen und von Hard- und Software auf der anderen Seite) und unterschiedlicher Erhebungsmethoden (zumeist eigene Primärerhebungen mit unterschiedlichen Grundgesamtheiten) lassen sich diese über die vier Marktsegmente hinweg nicht ohne weiteres vergleichen.

Marktsegment „Fahrzeugvernetzung über Mobilfunk“

Die Bereitstellung von Informationen von außen für das Fahrzeug, aber auch die Übermittlung von fahrzeugspezifischen Daten an

Zentralen bzw. die Infrastruktur über den Mobilfunkkanal ermöglicht eine Vielzahl von Anwendungen, die unter dem Begriff „Connected Car“¹⁰¹ zusammengefasst werden. Diese lassen sich zu drei Gruppen gliedern. Sie ergeben sich aus der Richtung, aus der der Datenaustausch initiiert wird (vom Fahrzeug ausgehend bzw. von Seiten der Infrastruktur ausgehend) sowie in Abhängigkeit davon, mit wem Daten ausgetauscht werden.

Im Mittelpunkt der Diskussion stehen **Mehrwertdienste** die den Fahrer bei der Fahraufgabe (Navigation) unterstützen bzw. zum Komfort der Mitfahrenden (Media Streaming) beitragen. McKinsey erwartet in diesem Marktsegment eine Verhundertfachung des globalen Umsatzes auf etwa 20 Mrd. EUR bis 2020. Die Unternehmensberatung PwC schätzt den Markt für Dienste aus diesem Bereich, die sich in ihrer Nomenklatur in den Produktsegmenten „Mobilitätsmanagement“ und „Entertainment“ wiederfinden, auf ca. 18,4 Mrd. EUR bis zum Jahr 2020.¹⁰²

	Marktsegment			
	Fahrzeugvernetzung (Mobilfunk)	Fahrzeugvernetzung (C2X-Kommunikation)	Automatisiertes Fahren (hochautomatisiert)	Automatisiertes Fahren (vollautomatisiert)
2015				
2020				
2025				
2030				
2035				

Tabelle 11: Antizipierte Marktdurchdringung für die vier relevanten Marktsegmente (gemessen am Anteil an „ausgestatteten“ Fahrzeugen). (Eigene Darstellung; Quellen: Wyman (2013), Detecon (2014), McKinsey (2014), Prognos/Fraunhofer (2015), BCG (2015))

¹⁰¹ Dies spiegelt sich auch in den Titeln der Studien der großen Beratungshäuser (siehe auch Abbildung 54) wider: „Connected Car – das Auto der Zukunft“ (Ernst & Young, 2012), „Connected Vehicle – Conquering the value of data“ (Roland Berger, 2012), „Connected Cars – Herausforderung China“ (Oliver Wyman, 2013), „Connected Car, automotive value chain unbound“ (McKinsey, 2014).

¹⁰² Vgl. McKinsey (2014) und PwC (2014).

Kapitel 5

Eine weitere Gruppe von Diensten umfasst Anwendungen des **Fahrzeugmanagements**: Systemzustände von Fahrzeugen können über Mobilfunk ausgelesen oder neue Software kann aufgespielt werden.

Auf Basis umfangreicher Datenmengen und dank der Verfügbarkeit von Analysewerkzeugen lassen sich schon heute gravierende Ausfälle von Systemelementen im Fahrzeug vorhersehen und vorbeugende Aktivitäten einleiten, bevor größere Schäden entstehen. Die entsprechenden Teile werden bei der nächsten Wartung ausgetauscht. Im Extremfall könnte auch der Halter angerufen und in die Werkstatt gebeten werden. BMW lässt sich bei diesen Analysen seit 2014 von IBM unterstützen.¹⁰³

Zukünftig lassen sich weitere Potenziale auf Basis von Echtzeitdaten aus den Fahrzeugen erschließen. Das Anbieten solcher Dienste ermöglicht den OEM darüber hinaus auch, die Beziehung zum Kunden auch nach dem Kauf eines Fahrzeugs im Sinne eines „Customer Relationship Management“ zu intensivieren bzw. auszubauen. Empirische Erhebungen zeigen, dass für Fahrzeugkäufer ein Angebot an Fahrzeugkonnektivität ein zentraler Grund für den Kauf einer bestimmten Marke sein kann. Laut PwC wird der globale Markt für solche Services im Bereich des „Fahrzeugmanagements“ gegenwärtig auf ca. 2,1 Mrd. EUR geschätzt – bis zum Jahr 2020 wird eine Verdreifachung auf 6,7 Mrd. EUR erwartet.¹⁰⁴

Infobox: Tesla Software-Updates

Tesla hat im März 2015 angekündigt, für das Model S zukünftig Software-Updates bereitzustellen, über die neue Funktionen des automatisierten Fahrens eingespielt werden. Die Fahrzeuge verfügen bereits ab Werk über die relevante Sensorik – nun soll die für die Automatisierung notwendige Algorithmen als Software über den Kommunikationskanal Mobilfunk aufgespielt werden. Damit werden Funktionen bereitgestellt, die zukünftig erlauben, das Fahrzeug auf privatem Gelände selbständig zu seinem Besitzer fahren zu lassen, wenn dieser es herbeiruft, oder das Auto allein in die Garage fahren und parken zu lassen.¹⁰⁵

Darüber hinaus lassen sich über den Mobilfunkkanal Software-Updates einspielen. Der amerikanische Automobilhersteller Tesla geht sogar noch einen Schritt weiter und beabsichtigt, nicht nur neueste Betriebssysteme und neuestes Kartenmaterial, sondern neue, erweiterte Funktionalitäten auf diese Weise bereitzustellen.

Eine dritte Gruppe von Anwendungen basiert auf dem **Austausch** von (Fahrzeug-)Daten **mit Dritten**, die aus diesen Informationen wiederum einen Mehrwert schöpfen und diesen Vorteil auch (monetär) an den Kunden zurückgeben. So lassen sich Versicherungsprämien, die einen nicht unerheblichen Anteil an den tatsächlichen Betriebskosten eines Pkw haben (siehe Abbildung 55), individuell in Abhängigkeit von Fahrleistung und Fahrverhalten bemessen. Tarifmodelle, die hierauf basieren, werden auch als „Pay as you drive“-Tarife bezeichnet.

Über diese Dienste hinaus ergeben sich Umsatzpotenziale aus dem **Ausstattungsgeschäft** mit „Connectivity Hardware“.¹⁰⁶ Die Unternehmensberatung McKinsey quantifiziert das Volumen auf gegenwärtig 29 Mrd. EUR (2014) und rechnet mit einem Anstieg

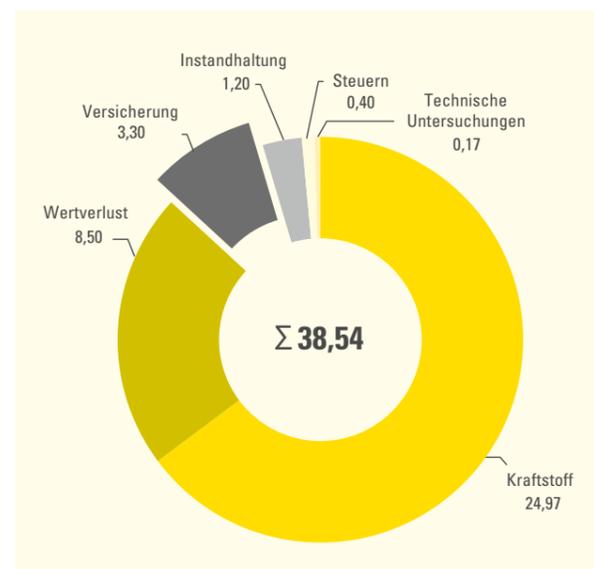


Abbildung 55: Kosten je Kilometer Autofahrt (in Cent). (Eigene Darstellung; Quelle: Randelhoff, M. (2014); Berechnung am Beispiel eines Golf VI)

auf 155 Mrd. EUR bis 2020. In absoluten Zahlen übertrifft das Ausstattungsgeschäft sowohl heute als auch im Jahr 2020 das Geschäft mit Diensten deutlich. Allerdings weisen die Dienste in Teilen eine deutlich höhere Wachstumsdynamik aus.

Den Abschätzungen zur Entwicklung der Marktvolumina liegen Annahmen zur Entwicklung der Durchdringungsraten zugrunde, d. h. Annahmen zur Ausstattung von Neufahrzeugen bzw. Bestandsfahrzeugen (Nachrüstung) mit zur Realisierung der Fahrzeugvernetzung (i. S. d. Anbindung über Mobilfunk) relevanten Komponenten. Erwartet wird, dass im Jahr 2020 deutlich mehr als die Hälfte von Pkw-Neufahrzeugen darüber verfügt.¹⁰⁷

Fahrzeugvernetzung wird sich global etablieren, allerdings in unterschiedlicher Geschwindigkeit und mit verschiedenen Schwerpunkten je nach Land. Der Marktdurchbruch ist wesentlich von der technischen Entwicklung des jeweiligen Landes (etwa dem Ausbaustand und der Verfügbarkeit leistungsfähiger Mobilfunknetze, z. B. LTE) abhängig.¹⁰⁸

Marktsegment „Fahrzeugvernetzung durch C2X-Kommunikation“

Ein weiteres wichtiges Marktsegment ist die Fahrzeugvernetzung im Nahbereich. Hier wurden in den vergangenen Jahren umfangreiche Feldtests durchgeführt und die Standardisierung wurde vorangetrieben (siehe Abschnitt 3.3).

Der Austausch von Daten zwischen Fahrzeugen sowie zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur erlaubt eine Vielzahl von Anwendungen, die insbesondere die Fahrzeug- und damit die Verkehrssicherheit verbessern können. Darüber hinaus erlaubt er auch die Realisierung von Anwendungen, die eine höhere Fahreffizienz (geringerer Energieverbrauch, geringerer Zeitaufwand für den Weg von A nach B) sowie einen höheren Fahrkomfort ermöglichen.

Im Forschungsprojekt simTD wurden 22 C2X-Anwendungsfälle ausgewählt und technisch realisiert. In einem Feldtest wurden die Funktionsfähigkeit nachgewiesen sowie Wirkungen untersucht. Diese Anwendungen lassen sich in Teilen eindeutig einer, in Teilen auch mehreren Wirkdimensionen (Sicherheit, Effizienz,

Komfort) zuordnen. Eine Priorisierung der implementierten und getesteten C2X-Anwendungen aus Nutzersicht zeigt Tabelle 12.

Prio	Sicherheit	Effizienz	Komfort
1.	Stauendwarnung	Grüne Welle	Parksituation
2.	Warnung vor defektem Fahrzeug	Erweiterte Navigation	Verkehrszeichen-assistent
3.	Elektronisches Bremslicht	Parksituation	Verkehrszeichen-warnung Grüne Welle Umleitungsempfehlung

Tabelle 12: Priorisierung von C2X-Anwendungsfällen aus Nutzersicht. (Quelle: simTD (2013b); Bewertung auf Basis von Befragungsergebnissen von simTD-Testnutzern hinsichtlich Besitzwunsch, Kaufbereitschaft und antizipierter Wirksamkeit)

Die konkrete Markteinführung von Funktionen des vernetzten Fahrens stellt eine besondere Herausforderung dar, weil der Nutzen einer Vielzahl von Funktionen erst bei hohen Ausstattungsgraden erfahrbar wird. Dies gilt vor allem bei jenen, die auf einem Datenaustausch zwischen Fahrzeugen beruhen (z. B. die Stauendwarnung). Ein solches Henne-Ei-Problem zeigte sich auch bei der Einführung des Mobilfunks: Der Nutzen der Anschaffung eines Gerätes entsteht erst bei großen Nutzerzahlen, d. h. vielen Menschen, die man anrufen kann (sogenannte „Netzwerkeffekte“).

Als eine „Day One Application“, d. h. eine Anwendung, die bereits von Beginn an den Nutzern einen großen Nutzen liefert bzw. eine hohe Wahrnehmung des Mehrwertes erlaubt, wurde im Projekt simTD die Baustellenwarnung identifiziert.¹⁰⁹

¹⁰³ informationweek.com (2014).

¹⁰⁴ Vgl. ingenieur.de (2012), Detecon (2014), McKinsey (2014) und PwC (2014).

¹⁰⁵ golem.de (2015).

¹⁰⁶ Vgl. PwC (2014).

¹⁰⁷ Vgl. auch Detecon (2014) und McKinsey (2014). Mit der Einführung von eCall im Jahr 2018 wird eine Festinstallation von Mobilfunkmodulen in Pkw-Neufahrzeugen innerhalb der europäischen Union verpflichtend – damit werden auch die technologischen Voraussetzungen für solche Dienste in der Breite geschaffen.

¹⁰⁸ Vgl. u. a. Roland Berger (2012a). Eine Übersicht über die Entwicklung der Marktdurchdringung in ausgewählten Ländern bzw. geographischen Großräumen findet sich in Wyman (2013).

¹⁰⁹ Vgl. simTD (2013b).



Abbildung 56: Umsetzbarkeit von C2X-Anwendungen. (Quelle: BITKOM (2013))

Infobox:

C2X-Anwendung Baustellenwarnung

Der sich einer Tagesbaustelle auf Autobahnen oder Bundesstraßen nähernde Verkehr wird über die im Baustellenbereich eingesetzten fahrbaren Absperrtafeln, die mit Kommunikationseinheiten (IRS) ausgestattet sind, gewarnt. Zusätzlich kann eine IRS die gesendeten Zustandsinformationen von Fahrzeugen und ihrer Umgebung aufzeichnen, vorverarbeiten und der Verkehrszentrale für eine Verkehrslageermittlung zur Verfügung stellen.



Quelle: Hessen mobil (2015), simTD (2013d)

Für die Realisierung dieser Anwendung bedarf es des Aufbaus straßenseitiger Kommunikationsinfrastruktur. Ab 2015 soll in einem Korridor, dem Cooperative ITS Corridor, eine solche Infrastruktur aufgebaut werden (siehe hierzu auch Ausführungen in Abschnitt 3.2).

Ende 2012 hat die europäische Automobil- und Automobilzulieferindustrie, die sich im Car2Car Communication Consortium (C2C CC) zusammengeschlossen hat, erste C2X-Produkte bzw. -Services für das Jahr 2015 angekündigt. Das C2C CC hat im Jahr 2013 die Technologiemarkte RoadLinkTM für die notwendige Hardware definiert. Im Jahr 2014 hat der Halbleiterhersteller NXP einen entsprechenden Chipsatz auf den Markt gebracht.¹¹⁰ Festzuhalten ist jedoch, dass es bisher keine Fahrzeuge gibt, die serienmäßig eine C2X-Funktionalität anbieten (siehe auch Abbildung 46).

Die Unternehmensberatung KPMG geht von einer breiten Markteinführung ab dem Jahr 2018 aus.¹¹¹ Auf Basis empirischer Erhebungen der Prognos AG und des Fraunhofer ISI wurde eine Durchdringung im Neufahrzeugbereich von 10 % (C2I- sowie C2C-Kommunikation) für das Jahr 2020 und 65 % (C2C-Kommunikation) bzw. 45 % (C2I-Kommunikation) für das Jahr 2030 antizipiert.¹¹²

Marktsegmente „hoch- und vollautomatisiertes Fahren“

Da im Gros der in Abbildung 54 genannten Studien die Marktsegmente des hoch- und vollautomatisierten Fahrens gemeinsam beschrieben werden, soll deren Charakterisierung auch im Folgenden unter einer Überschrift stattfinden. Eine gesonderte Betrachtung des Marktsegmentes des teilautomatisierten Fahrens findet nicht statt, da hier bereits eine Vielzahl von Produkten existiert.¹¹³

In den Anwendungsfällen des hoch- bzw. vollautomatisierten Fahrens übergibt der Fahrer in bestimmten Fahrsituationen die Fahrzeugführung an das Fahrzeug und wird von der Fahraufgabe entlastet.

Verschiedene Studien beschäftigen sich mit der Affinität der Bevölkerung gegenüber vollautomatisiert oder fahrerlos fahrenden Automobilen (siehe Abbildung 57). Sie zeigen, dass das Interesse am automatisierten Fahren positiv, aber in verschiedenen Regionen der Welt unterschiedlich ausgeprägt ist. Insbesondere in Ländern Asiens wie China und Indien wird die Automatisierung des Fahrens sehr positiv bewertet. Im Vergleich dazu ist die Affinität in Japan (wie auch in Deutschland) deutlich zurückhaltender ausgeprägt.¹¹⁴

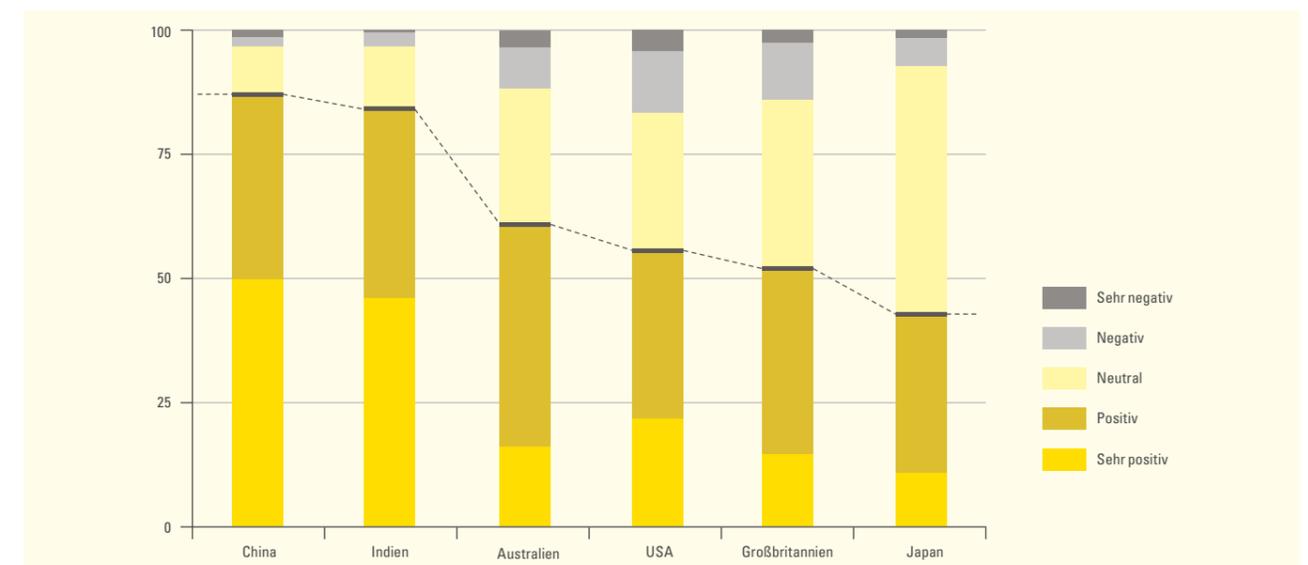


Abbildung 57: Akzeptanz von autonomen und vollautomatisierten, selbstfahrenden Fahrzeugen in verschiedenen Ländern (in Prozent). (Eigene Darstellung; Quelle: Schoettle, B., Sivak, M. (2014))

¹¹⁰ Vgl. car-it.com (2013b) und NXP (2014).

¹¹¹ Vgl. Eetimes (2012) und KPMG (2013).

¹¹² Vgl. Prognos/Fraunhofer (2015).

¹¹³ I. Roland Berger (2014) sowie Abbildung 18 in Abschnitt 2.7.

¹¹⁴ Hier sei auf die Ergebnisse weiterer Studien, die das Interesse bzw. die Kaufbereitschaft erhoben haben, verwiesen, z. B. AFC (2015) und Cisco (2013).

Kapitel 5

Aus Nutzersicht lassen sich eine Vielzahl von Gründen für den Kauf bzw. die Nutzung von hoch- bzw. vollautomatisierten Fahrzeugen identifizieren. Diese können den Wirkdimensionen Sicherheit, Effizienz und Komfort zugeordnet werden.

Eine aktuelle Studie der Unternehmensberatung BCG dokumentiert die Ergebnisse einer Befragung von ca. 1.200 Personen im Hinblick auf deren Motivation, autonom fahren zu wollen. Von den 17 vorgegebenen Gründen lassen sich 15 direkt den drei Wirkdimensionen zuordnen. Es zeigt sich, dass die drei am häufigsten als relevant für eine Kaufentscheidung genannten Gründe – Fahrzeugsicherheit (Sicherheit), Versicherungskosten ((Kosten-)Effizienz) und Multitasking (Komfort) – alle Wirkdimensionen umfassen.

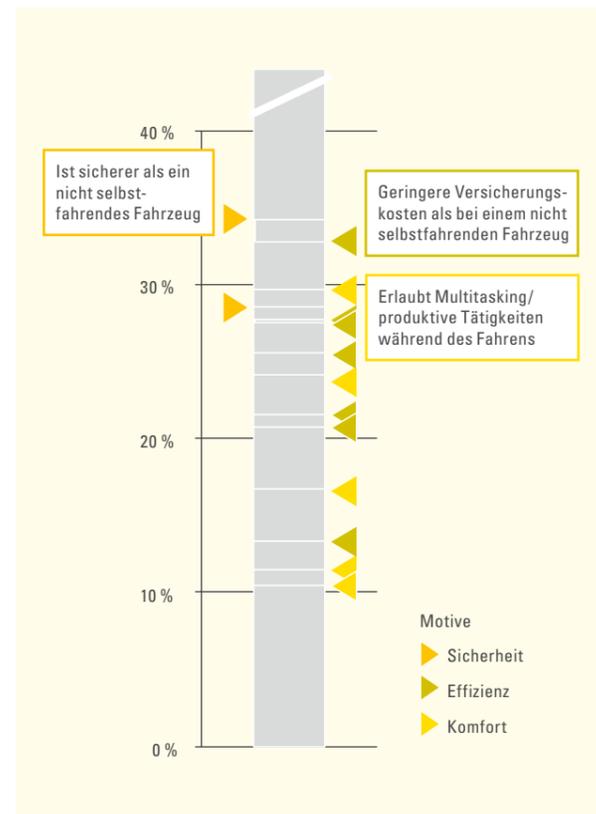


Abbildung 58: Gründe für den Kauf eines vollautomatisierten Fahrzeugs aus Nutzersicht (Anteil der Nennungen). (Eigene Darstellung, Quelle: BCG (2015))

Die Ergebnisse der Befragung im Hinblick auf die Gründe für den Kauf eines teilautomatisierten Fahrzeugs zeigen eine fast deckungsgleiche Reihenfolge der Kaufgründe, jedoch leicht geringere relative Nennungshäufigkeiten.

Im Hinblick auf das Marktangebot zeigt sich, dass erste Funktionen des hochautomatisierten Fahrens für bestimmte Anwendungen als Produkt unmittelbar vor der Markteinführung stehen (siehe Abbildung 46). Serienfahrzeuge sind in Teilen heute schon technisch so weit entwickelt, dass sie gewisse Grade der Automatisierung erlauben. Dieses belegen auch die folgenden beiden Zitate.

»Autonomes Fahren ist nicht ja/nein – da gibt es verschiedene Grade und schon heute geht da ganz schön viel.«

Dr. Thomas Benz,
PTV Group ¹¹⁵

»Ich fahre einen VW, und wenn ich die Lane-Keeping-Funktion und den Tempomat zusammen aktivschalte, fahre ich unter bestimmten Bedingungen schon heute bis zu acht Sekunden automatisiert.«

Dr. Michael Grimm,
Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren
Stuttgart ¹¹⁶

Die Frage, wie sich die weitere Marktdurchdringung darstellt, lässt sich aus verschiedenen Perspektiven beantworten. Hier ist zu unterscheiden im Hinblick auf die zeitliche Verfügbarkeit der Automatisierungsstufen, auf die lösende Fahraufgabe, auf die Komplexität des Fahrumfeldes, auf den geographischen Raum, in dem sich die Einführung einer solchen Technologie als erstes anbietet, sowie auf die Frage, durch welche Branchen und Akteure die weitere Entwicklung gestaltet wird.

Die heute am Markt verfügbaren Produkte lassen sich den **Automatisierungsstufen** 1 und 2 zuordnen (siehe Abbildung 16 in Abschnitt 2.7). Eine Markteinführung von Produkten mit Funktionen, die der Stufe 3 zuzuordnen sind, wird mittelfristig antizipiert. Die

Unternehmensberatung Roland Berger geht vom Zeitraum 2018 bis 2020 aus, BCG rechnet mit einer Markteinführung hochautomatisierter Fahrfunktionen für die Jahre 2016 (beginnend mit dem einfachen Autobahnpielen, ohne Spurwechselfunktion) bis 2022 (urbaner Autopilot).¹¹⁷

Dieses Bild wird von den interviewten Experten bestätigt, sie rücken die Zukunft sogar noch deutlich näher an die Gegenwart: Aus ihrer Sicht werden mit der nächsten Fahrzeuggeneration in der Oberklasse Funktionen angeboten werden, die die Längs- und Querverführung auf Autobahnen übernehmen – Spurwechsel- und Überholvorgänge sind dann nur noch durch den Fahrer freizugeben. Dies bestätigt sich auch im Hinblick auf die Produktankündigungen der OEM (siehe Abbildung 46 in Abschnitt 5.1).

Vollautomatisiertes Fahren (Level 4) wird nicht vor dem Jahr 2025 erwartet.¹¹⁸ Mit Blick auf die weitere Entwicklung skizzieren Bierstedt et al. hinsichtlich der Durchdringung des Verkehrssystems mit automatisiert fahrenden Fahrzeugen ein Bild, in dem (autonome) Fahrzeuge ohne Fahrer (Stufe 5) erst nach 2050 auf öffentlichen Straßen zum Einsatz kommen.¹¹⁹

Hinsichtlich der Frage, wie sich die Dynamik der Entwicklung im Zeitverlauf darstellt, wird seitens der interviewten Experten die These aufgestellt, dass hier zunächst sehr vorsichtig weitere Stufen der Automatisierung angeboten werden, diese Dynamik aber im Zeitverlauf – wenn auf Seiten des Kunden die Wahrnehmung besteht, dass die Technologie funktioniert – zunehmen wird.

»Autonomes Fahren wird stufenweise Realität.«

Ralf Guido Herrtwich,
Daimler AG ¹²⁰

Weiterhin lässt sich die Betrachtung hinsichtlich der zu unterstützenden **Fahraufgabe** differenzieren. Hier werden prinzipiell die Aufgaben des Fahrens, des Parkens sowie des Sonderfalls besonders kritischer Fahrsituationen unterschieden.

Systeme zur Unterstützung der Quer- und Längsverführung finden sich heute schon, bspw. mit dem in einigen Serienfahrzeugen

verfügbaren Spurhalteassistenten. Bis zum Jahr 2020 werden die Geschwindigkeitsparameter, innerhalb derer die Quer- wie auch die Längsverführung vom Fahrzeug automatisiert geregelt werden, deutlich ausgeweitet werden (siehe auch Produktankündigungen in Abbildung 46). Mit der Einführung von Autobahnpielen, die dem Fahrer das Überholmanöver abnehmen, wird ab dem Jahr 2020 gerechnet.¹²¹

Im Bereich der Aufgabe des Parkens finden sich bereits heute Systeme im Einsatz, die automatisiert die Querverführung übernehmen. Mit Lösungen, die das Fahrzeug automatisch einem Parkplatz zuführen, wird bis 2017 (BCG) bzw. 2019 (Roland Berger) gerechnet.¹²²

Des Weiteren werden bis 2020 Systeme angeboten werden, die den Fahrer bei kritischen Fahrsituationen wie Ausweichmanövern unterstützen, z. B. ein Notlenkassistent.¹²³

Darüber hinaus spielt bei der Betrachtung der Markteinführung von Systemen, die die Fahraufgabe übernehmen, die **Komplexität** des Fahrumfeldes eine entscheidende Rolle.

Während sich dies auf Autobahnen relativ einfach darstellt, ist die Komplexität im Bereich von Landstraßen sowie im Innerortsbereich eine deutlich größere Herausforderung. Erste Produkte im Pkw-Bereich werden hier nicht vor dem Jahr 2030 erwartet.¹²⁴ Anders gestaltet sich dies für Anwendungen im ÖPNV (siehe hierzu auch die in Abschnitt 3.3 vorgestellten Forschungsfahrzeuge), die potenziell in baulich abgetrennten Bereichen oder in einem niedrigen Geschwindigkeitsbereich zum Einsatz kommen. Hier ist mit zeitlich früheren Realisierungen zu rechnen – konkrete Anhaltspunkte finden sich jedoch weder in der Literatur noch wurde darauf in den Interviewgesprächen Bezug genommen.

Die interviewten Experten sind sich auch einig, dass bei solch hochkomplexen Umgebungen wie im städtischen Bereich die fahrzeugseitige Sensorik nicht mehr ausreichen wird, um alle für die Übernahme der Fahraufgabe relevanten Informationen zu erfassen. Hier bedarf es des Austauschs von Informationen mit anderen Fahrzeugen bzw. der Infrastruktur (Fahrzeugvernetzung über C2X-Kommunikation) und damit auch des Aufbaus entsprechender straßenseitiger Kommunikationsinfrastrukturen.

¹¹⁵ Quelle: Experteninterview.

¹¹⁶ Quelle: Experteninterview.

¹¹⁷ Vgl. Roland Berger (2014) und BCG (2015).

¹¹⁸ Vgl. Roland Berger (2014) und BCG (2015).

¹¹⁹ Vgl. Bierstedt et al. (2014).

¹²⁰ Vgl. Mercedes (2013a).

¹²¹ Expertenmeinungen im Rahmen der Interviews.

¹²² Vgl. Roland Berger (2014) und BCG (2015).

¹²³ Vgl. Roland Berger (2014) und BCG (2015).

¹²⁴ Vgl. Roland Berger (2014) und Interviewergebnisse.

Kapitel 5

Inwiefern bestimmte **geographische Räume** – im Sinne von Kontinenten oder Ländern – als Erstanwender in Betracht kommen bzw. sich positionieren, wird in den einschlägigen Studien nicht thematisiert. Im Hinblick auf die Akzeptanz unter den Nutzern weist der asiatische Markt hohe Potenziale auf (siehe Abbildung 57). Vor dem Hintergrund des hohen lokalen Problemdrucks und der hohen ökologischen Anforderungen zeigt der europäische Markt eine besondere Affinität.

Zu differenzieren ist auch in Bezug auf die Frage, welche **Akteure** auf welche Weise zukünftig Automobilität am Markt anbieten werden. Gegenwärtig zeichnen sich hier zwei unterschiedliche Entwicklungsrichtungen ab.

Die OEM aus dem Automobilbereich, die bisher die Entwicklung, die Produktion und den Vertrieb von Fahrzeugen zu ihren Kernkompetenzen gezählt haben, sind eine zentrale Akteursgruppe. Sie integrieren neue Technologien sukzessive in ihre Fahrzeuge und führen ihre Kunden in mehreren Stufen an das automatisierte Fahren heran.¹²⁵ Ein Sonderfall innerhalb dieser Gruppe ist der amerikanische Hersteller Tesla, der – u. a. mit Hilfe von Software-Updates – sehr schnell und sehr umfassend automatisierte Fahrfunktionen anbieten will (siehe Abbildung 46).

Daneben gibt es aber auch radikalere Konzepte. So hat Google ein selbstfahrendes Fahrzeug entwickelt (siehe Abbildung 38 in Abschnitt 3.3), das auf einen sehr eingegrenzten Anwendungsfall¹²⁶ und damit eine andere Art von Mobilität abzielt. In diesem Szenario kommt dem Automobil innerhalb von Wegeketten eine definierte Rolle zu (z. B. Zu- und Ablauf zu Umsteigepunkten zu anderen Verkehrsmitteln). Hierbei tritt das Fahrerlebnis deutlich in den Hintergrund.

Dies führt zu teils sehr unterschiedlichen Interpretationen der zukünftigen Bedeutung des Automobils und damit bisher verbundener Werte:

Ein weiterer potenziell relevanter Marktakteur ist das US-amerikanische Unternehmen Apple, das ebenfalls erste Testfahrzeuge entwickelt hat (siehe Abbildung 36 in Abschnitt 3.3) und für sich selbst nach neuen Märkten sucht.

»Das Auto ist entzaubert.«

Dr. Weert Canzler,
Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung¹²⁷

»Das Google-Konzept schafft es ab, mit Freude auf der linken Seite der Autobahn zu fahren.«

Winfried Hermann,
Verkehrsminister des Landes Baden-Württemberg¹²⁸

»Das Auto ist das ultimative Mobil-Gerät, nicht wahr?«

Jeff Williams,
Apple¹²⁹

Welche Akteure bzw. Akteursgruppen sich zukünftig in diesem Markt durchsetzen werden, ist heute noch nicht absehbar. Diese Wahrnehmung teilt auch das Gros der interviewten Experten. Begründen lässt sich dies im Hinblick darauf, dass

- es bisher zwar viele Konzeptstudien, aber wenige konkrete Produkte gibt (siehe Abbildung 46) und dieses Marktsegment erst im Entstehen ist,
- die Marktakteure sich selbst noch positionieren und zukünftige Rollen erproben (siehe Tabelle 8),
- deutsche OEM auch erfolgreich andere Rollen als bisher – z. B. als Mobilitätsdienstleister (z. B. moovel, DriveNow) – einnehmen und diese Aktivitäten weiter ausweiten sowie
- die Wahrnehmung besteht, dass die Produkte der bisherigen Anbieter von Automobilen durch die Technologien, die eine Automatisierung von Fahrfunktionen ermöglichen, noch attraktiver gemacht werden: Der Fahrer kann zukünftig die Fahraufgabe in den Situationen, in denen das Fahrerlebnis gering ist (z. B. im Stau), an das Fahrzeug delegieren.

Die Ausgestaltung der Schnittstelle zwischen Fahrer und Fahrzeug ist von zentraler Bedeutung für eine hohe Akzeptanz des vernetzten und automatisierten Fahrens auf Seiten der Kunden (siehe auch Ausführung in Abschnitt 2.6).

McKinsey definiert drei zentrale Kontrollpunkte, die es zu besetzen gilt, um zukünftig die sich aus der Einführung vernetzter und automatisierter Fahrzeugfunktionen ergebenden Erlösquellen bestmöglich zu erschließen. Einer dieser drei Kontrollpunkte ist die „integrierte Bedienung der Dienste und Apps“.¹³⁰ Derjenige, der diese Schnittstelle besetzt, wird auch durch den Kunden als der Anbieter von Produkten bzw. Dienstleistungen des vernetzten und automatisierten Fahrens wahrgenommen.

Bisher lag die Hoheit über diese Schnittstelle bei den OEM. Diese haben über Jahrzehnte die Wünsche und Bedürfnisse der Automobilitätskunden erforscht und geprägt und sie sehen sich auch zukünftig hier positioniert.

»Wir bleiben die Schnittstelle zum Kunden.«

Dr. Philipp Gneiting,
Daimler AG¹³¹

Aber auch Unternehmen der IKT-Branche sehen hier für sich große ökonomische Entwicklungspotenziale. Sie haben Smartphones, die in der Bedienführung und der Bedienbarkeit Standards setzen, entwickelt und auf den Markt gebracht.

Hinsichtlich der Entwicklung des globalen **Umsatzes** liegen Schätzungen vor, die eine starke und schnelle Ausweitung des Marktsegments „hoch- und vollautomatisiertes Fahren“ hin zu einem Umfang in der Größenordnung von 40 bis 60 Mrd. USD antizipieren. Da sie auf unterschiedlichen methodischen Schritten basieren, sind diese Schätzungen nur bedingt vergleichbar. Im Hinblick auf die zeitliche Dynamik fallen diese Abschätzungen zum Teil deutlich auseinander.¹³² Das Gros des Marktes, etwa zwei Drittel, wird dabei durch neue Hardware, die für die Automatisierung von Fahrzeugen notwendig ist (Sensoren, Steuergeräte), generiert. Ein weiteres Drittel macht Software aus, die

die Sensordaten aus dem Fahrzeugumfeld sowie dem Fahrzeug selbst (Fahrerüberwachung) auswertet, interpretiert und in Regelungsbefehle umsetzt. Noch nicht „eingepreist“ in diese Umsetterwartungen sind neue Applikationen, die dem Fahrer bzw. den Gefahrenen bspw. aus den Bereichen Multimedia und Navigation angeboten und von diesen genutzt werden.

Abschätzungen der Kosten auf Seiten der Endnutzer für derartige Systeme liegen in der Größenordnung zwischen 2.000 und 5.500 USD für hochautomatisierte bzw. 10.000 USD für vollautomatisierte Systeme. Diese liegen damit in ähnlicher Größenordnung (im Bereich von 2.500 bis 5.000 EUR), in der bisher durch die Premiumhersteller erweiterte Fahrerassistenzsysteme angeboten werden.¹³³

5.4 REGIONALE KOMPETENZEN UND STANDORT-POSITIONIERUNG

Eine Bewertung der ökonomischen Bedeutung des vernetzten bzw. automatisierten Fahrens für den Entwicklungs- und Produktionsstandort Baden-Württemberg stellt eine inhaltlich-methodische Herausforderung dar.

Diese ist zum einen begründet in der Tatsache, dass das Gros der Produkte, die vernetztes oder automatisiertes Fahren ermöglichen, bisher noch nicht im Markt angeboten wird. Insofern lassen sich keine Statistiken erschließen, die den Output badenwürttembergischer Unternehmen in Form von Anzahl oder Wertmengen von Produkten aufzeigen.

Der Zugang zu Sekundärstatistiken über definierte Branchen bzw. Wirtschaftszweige wird darüber hinaus dadurch erschwert, dass an der gesamten Wertschöpfung von vernetzten und automatisierten Fahrzeugen (Erforschung, Entwicklung, Produktion und Vertrieb von Komponenten und Systemen) bzw. den darauf aufbauenden Mobilitätsdienstleistungen eine Vielzahl von Akteuren unterschiedlichster Branchen beteiligt ist.

Dennoch lässt sich aufzeigen, in welchem Umfang Kompetenzen auf Seiten von Wirtschaft und Wissenschaft vorliegen, die perspektivisch zur Erschließung der zuvor skizzierten Marktpotenziale genutzt werden können.

¹²⁵ Vgl. Detecon (2014).

¹²⁶ Roland Berger (2014) spricht hier von „Short Distance Vehicle“.

¹²⁷ Berliner Republik (2015).

¹²⁸ Vgl. auto-motor-und-sport.de (2015).

¹²⁹ Vgl. spiegelonline.de (2015).

¹³⁰ McKinsey (2014).

¹³¹ Quelle: Experteninterview.

¹³² PwC (2014) nennt Schätzungen für die Jahre 2015 (7,5 Mrd. EUR) und 2020 (35,7 Mrd. EUR). Abschätzungen des globalen Umsatzpotenzials von Roland Berger (2014) weisen für On-board-Systeme im Jahr 2030 ein Volumen von 30 bis 40 Mrd. EUR für zusätzliche Hardware sowie weitere 10 bis 20 Mrd. EUR für Software-Systemfunktionen wie Pfad- und Bewegungsplanung oder hochauflösende Karten aus.

¹³³ Vgl. Roland Berger (2014), BCG (2015) sowie wirtschaftswoche.de (2015a).

¹³⁴ Vgl. Roland Berger (2014), BCG (2015) sowie wirtschaftswoche.de (2015a).

Kapitel 5

Bereits heute ist eine Vielzahl von Unternehmen und Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg beheimatet, die aktiv die Erforschung und Entwicklung von vernetzter und automatisierter (Auto-)Mobilität vorantreiben.

Losgelöst von diesen einzelnen Akteuren lässt sich auf Ebene des Bundeslandes Baden-Württemberg aufzeigen, dass die geschaffenen Clusterstrukturen im Speziellen sowie die regionalwirtschaftliche Struktur im Allgemeinen eine Vielzahl von Anknüpfungspunkten für eine weitere Erschließung der Märkte des vernetzten und automatisierten Fahrens bieten.

Die Automobilindustrie prägt heute stark die Wirtschaftsstruktur des Bundeslandes Baden-Württemberg. Dies bedingt auch eine hohe Abhängigkeit anderer Wirtschaftsbereiche in vorgelagerten Wertschöpfungsketten.

Zusammenfassend wird aufgezeigt, welche Chancen und Risiken sich für den Wirtschaftsstandort Baden-Württemberg im Hinblick auf das vernetzte und automatisierte Fahren ergeben.

Baden-württembergische Akteurslandschaft

Die geographische Verteilung von ausgewählten in Baden-Württemberg beheimateten und im Themenfeld vernetztes und automatisiertes Fahren besonders aktiven Unternehmen und Forschungseinrichtungen stellt Abbildung 59 dar. Es zeigt sich eine Bündelung insbesondere in den Ballungsräumen Stuttgart und Karlsruhe. Auf Seiten der Großunternehmen prägen OEM und Zulieferer das Bild. Hervorzuheben ist, dass einige dieser Unternehmen in Anwendungsbereichen jenseits des Automobils – z. B. der Vernetzung und Automatisierung von Arbeits- und Landmaschinen – aktiv sind.

Über diese Großunternehmen hinaus wurde eine Reihe kleinerer und mittelständischer Unternehmen (KMU), die spezifische Nischen besetzen, identifiziert – und zu einem Großteil im Rahmen dieser Studie interviewt.

Hinsichtlich des „Zugangs“ zur Thematik lassen sich diese Unternehmen in drei Gruppen einteilen.

- Es gibt Unternehmen, die zuvor im Bereich der elektrischen Fahrsysteme bzw. der Elektromobilität aktiv waren und nun – innerhalb dieser Geschäftsfelder – neue Umsatzpotenziale im Bereich der Vernetzung und Automatisierung erschließen. Anknüpfungspunkte sind hier insbesondere im Bereich der Softwareentwicklung gegeben.
- Darüber hinaus existieren Unternehmen, die zuvor in anderen Anwendungsfeldern Systemintegration bzw. -tests betrieben haben und nun dieses Know-how erfolgreich im Markt für vernetztes und automatisiertes Fahren anbieten.
- Schließlich gibt es eine Gruppe von Unternehmen, die eine spezifische Technologie, zumeist im Bereich der Sensorik und Aktorik, beherrscht, hier ein Alleinstellungsmerkmal¹³⁴ aufweist und diese für die Anwendung im automatisierten Fahren (weiter-)entwickelt.

Ein besonderer Schwerpunkt der Aktivitäten von KMU in Baden-Württemberg zeigt sich im Bereich des Testens und Validierens von Systemen, die ein vernetztes und/oder automatisiertes Fahren ermöglichen.¹³⁵

Der Testaufwand für heute am Markt angebotene Systeme der Fahrerunterstützung ist bereits sehr umfassend. So werden – für im Vergleich zum vernetzten bzw. automatisierten Fahren vergleichsweise wenig komplexe Situationen – Millionen von Testkilometern gefahren und immense Mengen an Daten (im Bereich von Petabyte) gesammelt und ausgewertet.

»Ziel muss es sein, mit endlich vielen Testmethoden und -schritten ein solches System auf die Straße zu bringen.«

Gregor Matenaer,
CMORE Automotive GmbH¹³⁶

Durch die Entwicklung geeigneter Softwarewerkzeuge und intelligenter Algorithmik lässt sich der (physische) Aufwand zum Nachweis der funktionalen Sicherheit in Grenzen halten. Auch sind Fragestellungen der IT-Sicherheit (Security, Privacy, Safety) effizient zu adressieren. Hier bieten sich insbesondere Synergiepotenziale

zur Beantwortung von ähnlichen Fragestellungen auf Seiten anderer Verkehrsmittel (Flugzeug, Bahn, Schiff) an. Aus Sicht der KMU ist dabei aber auch der Zugang zu geeigneten Testfeldern (siehe Abschnitt 3.2) wichtig.

Einen weiteren zentralen Ansatzpunkt stellt die Integration und Adaption der verfügbaren Technologien (siehe Abschnitt 2.2 bis 2.5) und deren Kompatibilität mit Systemen in anderen Anwendungsfeldern jenseits des Pkw (und damit des hoch- bzw. vollautomatisierten Fahrens auf öffentlichen Straßen) dar. So bieten sich große Potenziale der Vernetzung und Automatisierung z. B. von Arbeitsmaschinen. Diese umfassen u. a. Maschinen der Landtechnik, Müllfahrzeuge oder Straßenreinigungsmaschinen.

Infobox: Unternehmen Paravan

Eine zentrale Herausforderung im Hinblick auf die Automatisierung von Fahrfunktionen in Serienfahrzeugen ist die Verfügbarkeit von Komponenten (Hardware), die Entscheidungen der Regelalgorithmik in ein der Fahrsituation adäquates Fahrmanöver umsetzen (siehe auch Ausführungen in Abschnitt 2.2 zur Aktorik).

In Serienfahrzeugen sowie in den meisten Prototypen, die automatisiertes Fahren demonstrieren, wird die Automatisierung der Querführung über eine (elektronisch angetriebene) Lenksäule realisiert. Der Einsatz eines solchen technologischen Systems im realen Verkehr ist nur zulässig, wenn der Fahrzeugführer die Situation überwacht und jederzeit physisch eingreifen kann. Die elektronische Ansteuerung der Lenksäule über einen Stellmotor ist bisher nicht redundant ausgelegt, d. h., ein potenzieller Ausfall der Elektronik kann nur durch Fahrereingriff kompensiert werden.

Die Firma Paravan hat über die vergangenen 15 Jahre hinweg ein Steer-by-wire-System entwickelt und perfektioniert, das Eingabesignale analog bzw. digital in das System über unterschiedliche Schnittstellen (CAN, LIN, Flex Ray) zur Verarbeitung weiterleitet. Aufgrund dieser Mehrfach-

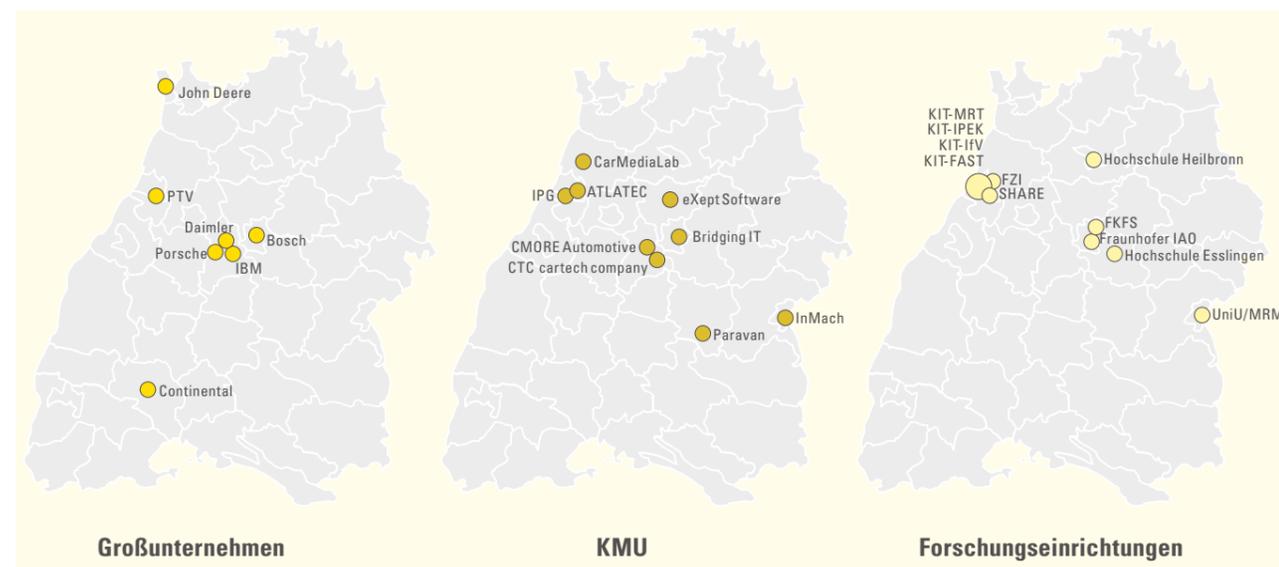


Abbildung 59: Eine Auswahl baden-württembergischer Akteure mit unmittelbarem Bezug zur Fahrzeugvernetzung und zum automatisierten Fahren. (Eigene Darstellung; Zuordnung von Großunternehmen über Sitz des Interviewpartners; Quelle: eigene Recherche und Experteninterviews)

¹³⁴ Die Notwendigkeit solcher Alleinstellungsmerkmale betont auch Stefan Bratzel, Leiter des Center of Automotive Management an der Hochschule Bergisch Gladbach, in einem Interview mit der Wirtschaftswoche (vgl. wirtschaftswoche.de (2015a)): „Kleinere Zulieferer können zwar als Teilleieferant von neuen Technologien profitieren, ihre Rolle und ihre Verhandlungsmöglichkeiten gegenüber den Auftraggebern wird das aber nicht entscheidend verändern, sofern sie keine relevanten Alleinstellungsmerkmale vorweisen können.“

¹³⁵ Quelle: Experteninterview. Siehe auch Ausführungen in Abschnitt 2.2 zur Bedeutung der funktionalen Sicherheit sowie in den Abschnitten 3.2 und 3.3 zur Bedeutung als eigenständiges Forschungsfeld.

¹³⁶ Quelle: Experteninterview.

Kapitel 5

redundanz ist es für den Einsatz im Straßenverkehr zugelassen.

Das System hat sich im Alltagseinsatz bewährt – Paravan-Steer-Fahrzeuge, die zumeist spezifische Umbauten für behinderte Menschen sind, haben mittlerweile mehr als 120 Mio. Kilometer Laufleistung hinter sich gebracht.

Das Paravan Steer-by-wire-System fand auch seinen Einsatz in der Fahrzeugstudie „Budii“ des schweizerischen Unternehmens Rinspeed (siehe auch Abbildung 36).

Seit dem Jahr 2011 ist die ebenfalls in Baden-Württemberg beheimatete Würth-Gruppe, die im Kerngeschäft in einer gänzlich anderen Branche aktiv ist, an der Paravan GmbH beteiligt und seit November 2014 auch Mehrheitseigentümer.

In Baden-Württemberg gibt es auf Seiten der Hochschulen und Forschungseinrichtungen ausgeprägte Kompetenzen auf dem Feld der Fahrzeugvernetzung und -automatisierung, insbesondere im Hinblick auf technisch-konstruktive Fragestellungen. Dies dokumentiert sich u. a. in Europas größtem Fahrsimulator, der auch Stufen des automatisierten Fahrens simulieren kann, am Forschungsinstitut für Kraftfahrtwesen und Fahrzeugmotoren (FKFS) in Stuttgart sowie im Forschungsfahrzeug CoCar des Forschungszentrums Informatik (FZI) in Karlsruhe.

In Anlehnung an die in Kapitel 2 gewählte Systematisierung der für die Vernetzung und Automatisierung von Fahrzeugen notwendigen Technologien sind in Tabelle 13 die jeweiligen Schwerpunkte ausgewählter Forschungseinrichtungen dargestellt.

Es zeigt sich, dass baden-württembergische Forschungseinrichtungen das gesamte Spektrum der Technologien abdecken – mit jeweils unterschiedlicher Schwerpunktsetzung. Ein Fokus liegt dabei auf der Umfelderkennung mittels unterschiedlicher Sensoren, der Fusion der daraus gewonnenen Daten und deren Überführung in die Regelung.

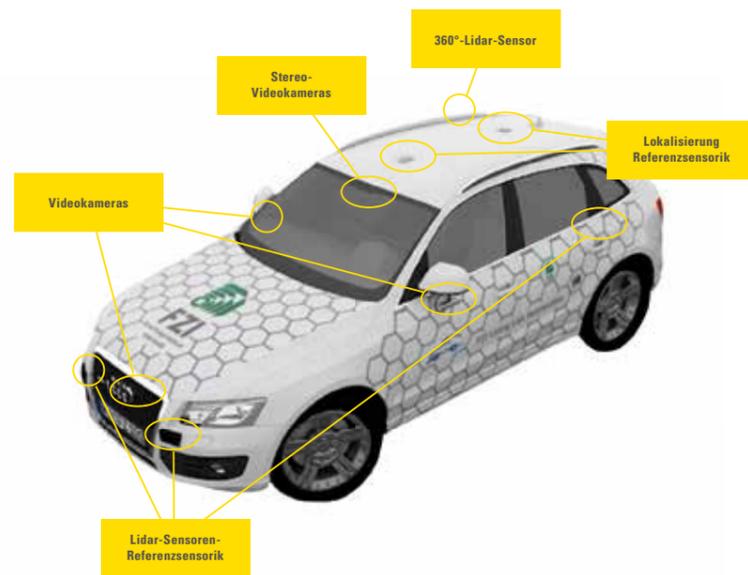


Abbildung 60: Forschungsfahrzeug CoCar. (Quelle: FZI)

Systemelement	Forschungseinrichtung					
	FKFS	Ulm/MRM	KIT/IPEK	KIT/MRT	SHARE	FZI
Umfeldsensoren		■		■		■
Aktoren			■	■	■	
Umfeldinterpretation	■	■	■	■		■
Regelungssysteme	■	■	■	■	■	■
Lokalisierung	■	■	■	■		■
Digitale Karten	■	■		■		■
Fahrzeuginterne Kommunikation	■					
Fahrzeugvernetzung	■					■
Datensicherheit und Absicherung der Kommunikation	■					■
Schnittstelle Fahrer/Fahrzeug	■		■		■	■
Integration und Validierung	■		■	■		■

Tabelle 13: Ausgewählte Wissenschaftseinrichtungen in Baden-Württemberg und deren technologisches Kompetenzportfolio. (Eigene Darstellung; Quelle: Experteninterviews)

■ Kernkompetenz
 ■ Weiteres Kompetenzportfolio

**Infobox:
Unternehmen ALATEC**

Das Karlsruher Start-up ALATEC hat eine vielversprechende Technologie zur Eigenlokalisierung entwickelt: Mittels einer am Fahrzeug angebrachten Kamera wird die Fahrzeugumgebung erfasst, in ein 3D-Modell überführt und als (3D-) Karte abgelegt. So wird ein eigene, hochgenaue digitale Karte (siehe Abschnitt 2.3) geschaffen. Für das automatisierte Fahren lassen sich derart – nach ein- bzw. mehrmaliger Befahrung – zulässige Fahrkorridore ablegen. Dies ermög-

licht eine kartenrelative Lokalisierung ohne GPS-Empfänger und Inertialsensorik. Die technologischen Grundlagen dieser Methode wurden am Institut für Mess- und Regelungstechnik (MRT) des KIT im Rahmen der Vorbereitungen für die Bertha-Benz-Fahrt gelegt.

Ein Beispiel für die Vielfältigkeit der für die Umsetzung des vernetzten sowie automatisierten Fahrens relevanten technischen (und nichttechnischen) Disziplinen ist das Forschungsportfolio des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT):

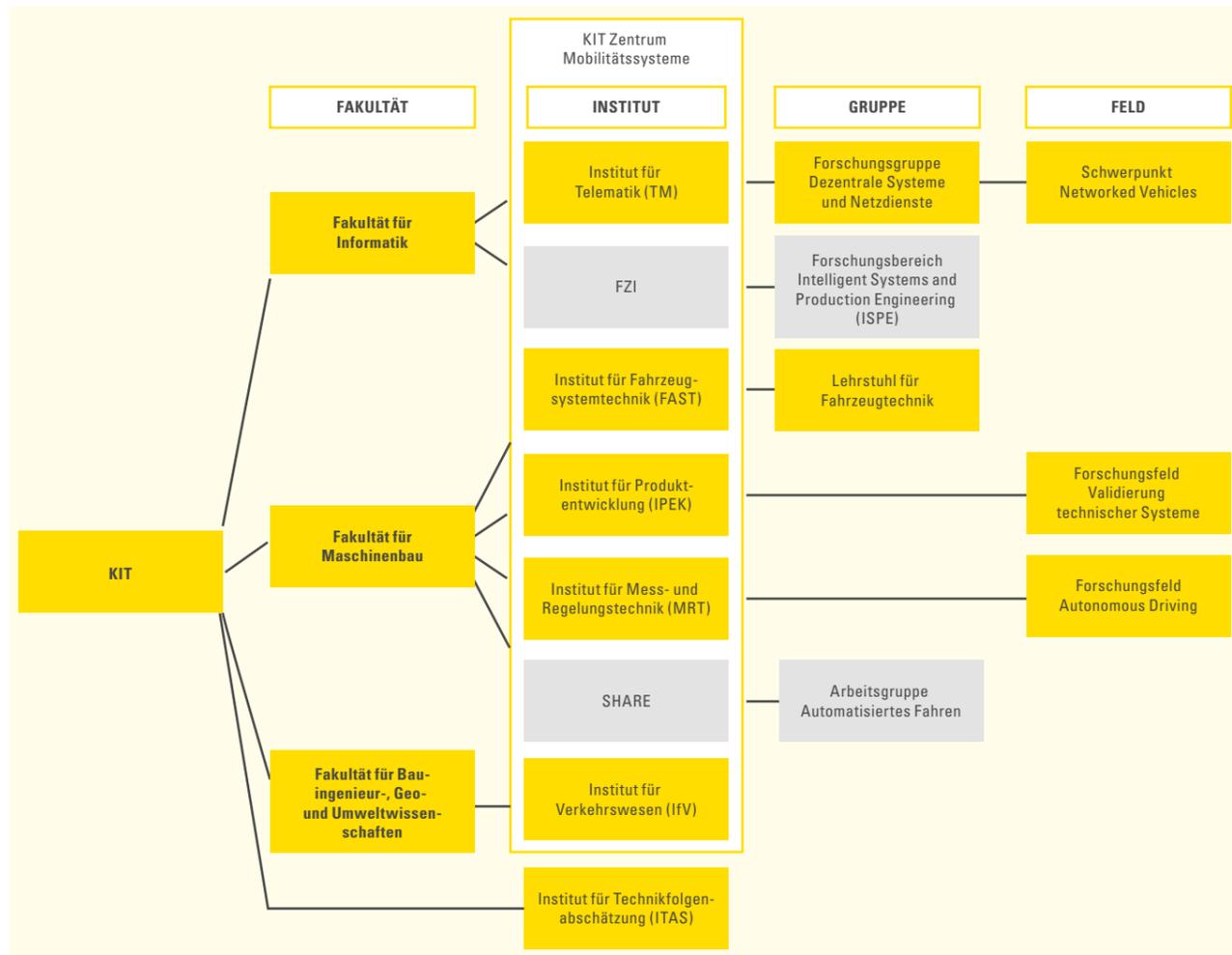


Abbildung 61: Institutionalisierung relevanter Forschungsaktivitäten am Beispiel des KIT. Anmerkungen: „An-Institute“ sind farblich abgesetzt; FZI = Forschungszentrum Informatik, SHARE = Schaeffler Hub for Automotive Research in E-Mobility am Karlsruher Institut für Technologie. (Eigene Darstellung)

Darüber hinaus findet sich in Baden-Württemberg auch eine Reihe von Forschungseinrichtungen, die sich weniger mit den technisch-konstruktiven Aspekten, sondern mit den Auswirkungen des vernetzten und automatisierten Fahrens beschäftigen. Dies umfasst neben der Nutzerperspektive (i. S. v. Wirkpotenzialen, siehe auch Abschnitt 4.1) bzw. Fragen der Technikfolgenabschätzung auch eine Betrachtung der Effekte des vernetzten

bzw. automatisierten Fahrens hinsichtlich ökonomischer Perspektiven. Zu den relevanten Forschungseinrichtungen zählen u. a. das Institut für Verkehrswesen (IfV) sowie das Institut für Technikfolgenabschätzung (ITAS) am KIT in Karlsruhe sowie das Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation (IAO)¹³⁷ in Stuttgart.

Kernergebnis:

Die baden-württembergische Akteurslandschaft im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens auf Seiten der Unternehmen wird im Wesentlichen durch Daimler und die Tier-1-Zulieferer aus dem Automobilbau und deren Aktivitäten geprägt. Diese Unternehmen können in Teilen auf recht lange Entwicklungsaktivitäten zurückschauen, die sich auch in gefestigten, bilateralen Kooperationsbeziehungen mit heimischen Forschungseinrichtungen niederschlagen.

Ergänzt wird diese Akteurslandschaft durch eine Reihe von KMU, die Know-how insbesondere in den Bereichen spezifischer Technologien (Sensorik, Aktorik) sowie der Integration und Validierung von Systemen in den Entwicklungsprozess von automatisiert fahrenden Fahrzeugen einbringen. Dieses Know-how wurde teilweise in anderen Anwendungsfeldern aufgebaut oder wird erfolgreich in Anwendungsfelder jenseits des automatisierten Fahrens im Pkw – z. B. in der Landwirtschaft – überführt.

Vervollständigt wird die Akteurslandschaft durch eine Reihe von Forschungseinrichtungen im technisch-konstruktiven Bereich, die sich dynamisch weiterentwickeln und die über ein ausgeprägtes Know-how v. a. im Bereich der Umfeldinterpretation und der Regelungstechnik verfügen.

Wissenstransfer und Zusammenspiel von Wissenschaft und Wirtschaft

Die baden-württembergischen Forschungseinrichtungen kooperieren mit Unternehmen in öffentlich geförderten Verbundprojekten; sie forschen aber auch in direktem Auftrag der Industrie am vernetzten und automatisierten Fahren und leisten so einen Beitrag zur Entwicklung konkreter Produkte. Der Anteil solcher direkter Beteiligung an der wissenschaftlichen „Wertschöpfung“ der jeweiligen Institute liegt zwischen einem und zwei Dritteln und belegt damit auch die hohe Innovationskraft der lokalen Wissenschaft. Ein Beleg für die Bedeutung der baden-württembergischen Wirtschaft und Wissenschaft im Bereich der Erforschung und Entwicklung vernetzter und automatisierter Systeme ist deren Beteiligung an einer Vielzahl nationaler und europäischer Forschungsprojekte – teilweise auch in der Rolle des Koordinators (siehe Tabelle 5 in Abschnitt 3.1).

Ergänzt werden diese Aktivitäten auf lokaler Ebene durch weitere Forschungsprojekte, die entweder durch Landesmittel gefördert werden oder die zunächst nur mittelbar einen Bezug zum Bereich der Fahrzeugautomatisierung aufweisen und von rein baden-württembergischen Konsortien initiiert und durchgeführt wurden bzw. werden. Eine zentrale koordinierende Rolle kommt hierbei den Akteuren des Clusters Elektromobilität Süd-West sowie der AG intelligent move (siehe auch Abbildung 62) zu. Eine Übersicht über relevante Forschungsprojekte zeigt nachfolgende Tabelle. Die Inhalte der Projekte werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Projekt	Fördergeber	2011				2012				2013				2014				2015				2016				2017			
		Q1	Q2	Q3	Q4																								
BIPOL	Land																												
ELISE	BMBF																												
AUTOPLES	BMBF																												
BIPOLplus	BMBF																												
e ² -Lenk	BMBF																												

Tabelle 14: Ausgewählte Forschungsprojekte in Baden-Württemberg im zeitlichen Verlauf. (Eigene Darstellung)

¹³⁷ Das Fraunhofer IAO bearbeitet beispielsweise im Auftrag des BMWi die Studie „Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen – Industriepolitische Schlussfolgerungen“.

Kapitel 5

Im Projekt „Berührungsloses, induktives und positionstolerantes Ladekonzept für elektrisch angetriebene Fahrzeuge“ (BIPOL) wurde mit Hilfe von Fördermitteln des Landes Baden-Württemberg ein Positionierungssystem zum autonomen Einparken entwickelt. Neben dem FKFS waren auf Seiten der Forschung das KIT sowie die Universität Stuttgart beteiligt. Industrieseitig waren u. a. die Automobilindustrie (Daimler, Porsche) sowie die Energieindustrie (EnBW) vertreten. Dieses Projekt findet eine Fortsetzung im Rahmen des Spitzenclusters Elektromobilität Süd-West im Forschungsvorhaben BIPOLplus, das mit Mitteln des BMBF gefördert wird.

Das Projekt „Autonome Ladeeinheit und systemintegrierter Daten-Gateway für Elektrofahrzeuge“ (ELISE) wird ebenfalls vom BMBF gefördert. Das Projekt, an dem die drei baden-württembergischen Partner KIT/IPEK, CarMediaLab und RA Consulting mitwirken, ist Teil des Spitzenclusters Elektromobilität Süd-West.

Im Vorhaben „Automatisiertes Parken und Laden von Elektrofahrzeug-Systemen“ (AUTOPLES) werden das automatisierte Parken und Laden von Elektrofahrzeugen in öffentlichen Parkräumen erforscht und neue Geschäftsmodelle hierfür konzeptuell entwickelt. Auch dieses Projekt wird im Rahmen der ersten Förderphase im Spitzencluster Elektromobilität Süd-West durch das BMBF gefördert. Das Konsortium aus Baden-Württemberg (TransEnergyPartners GmbH, CTC cartech company GmbH, FZI Karlsruhe, Lapp Systems GmbH, IPT GmbH) untersucht u. a. die Möglichkeiten für das autonome und koordinierte Bewegen von Elektrofahrzeugen (z. B. im Parkhaus). Bei der Live-Demonstration in der Hofdienergarage in Stuttgart am 5. Oktober 2015 wurde gezeigt, wie ein Smart ed vor dem Parkhaus verlassen wurde und sich dann selbständig zum Parkplatz mit Laderoboter bewegte. Ab November 2015 steht ein Kurzfilm auf www.e-mobilbw.de in der Mediathek zur Verfügung. Durch ein derartiges Parksystem können Parkräume verdichtet und knappe Ressourcen (Ladesäulen) effizient genutzt werden.

Im BMBF-geförderten Forschungsprojekt „Energieoptimale, intelligente Lenkkraftunterstützung für elektrische Fahrzeuge“ (e²-Lenk) erforschen die Clusterpartner Schaeffler Technologies AG & Co. OHG mit dem SHARE (Schaeffler Hub for Automotive Research in E-Mobility) und das Institut für Fahrzeugsystemtech-

nik (FAST) des KIT (siehe auch Abbildung 61) einen radselektiven Antrieb. Automatisiert fahrende Fahrzeuge können von den derart erhöhten Freiheitsgraden in der Aktorik (Querführung) profitieren.

Kernergebnis:

Die Forschung und Entwicklung im Bereich der Fahrzeugautomatisierung wird gegenwärtig in einer Reihe von national geförderten Verbundvorhaben vorangetrieben. Die Vielzahl von rein baden-württembergischen Konsortien ist ein Beleg für die Stärke des Wirtschafts- und Wissenschaftsstandortes. Das Gros der Forschungsprojekte ist inhaltlich in den Anwendungsfall Elektromobilität eingebettet.

Institutionalisierung der Kompetenzen im Land Baden-Württemberg

Den einzelnen Akteuren aus Wirtschaft und Wissenschaft übergeordnet finden sich in Baden-Württemberg industrielle Cluster. Die baden-württembergische Clusterpolitik hat 25 Technologiefelder definiert.¹³⁸ Sieben dieser 25 Technologiefelder weisen einen besonders starken Bezug zum vernetzten bzw. automatisierten Fahren auf (siehe Abbildung 62). Es lassen sich eine Reihe von Clusterinitiativen¹³⁹ identifizieren, die Unternehmen und Forschungseinrichtungen in diesen Technologiefeldern unterstützen.

Konkrete thematisch-inhaltliche Anknüpfungspunkte innerhalb der Clusterinitiativen zeigen sich in vielerlei Hinsicht. Sie belegen, dass baden-württembergische Unternehmen und Forschungseinrichtungen für das Themenfeld des vernetzten und automatisierten Fahrens schon heute sensibilisiert sind bzw. werden. Beispiele hierfür sind u. a.

- die Institutionalisierung einer Arbeitsgruppe („AG intelligent move“) im Cluster Elektromobilität Süd-West im Februar 2014¹⁴⁰ sowie
- die Adressierung der Thematik im Rahmen einer „Special Interest Group“ („SatNav“) innerhalb der Clusterinitiative Baden-Württemberg: Connected e. V.

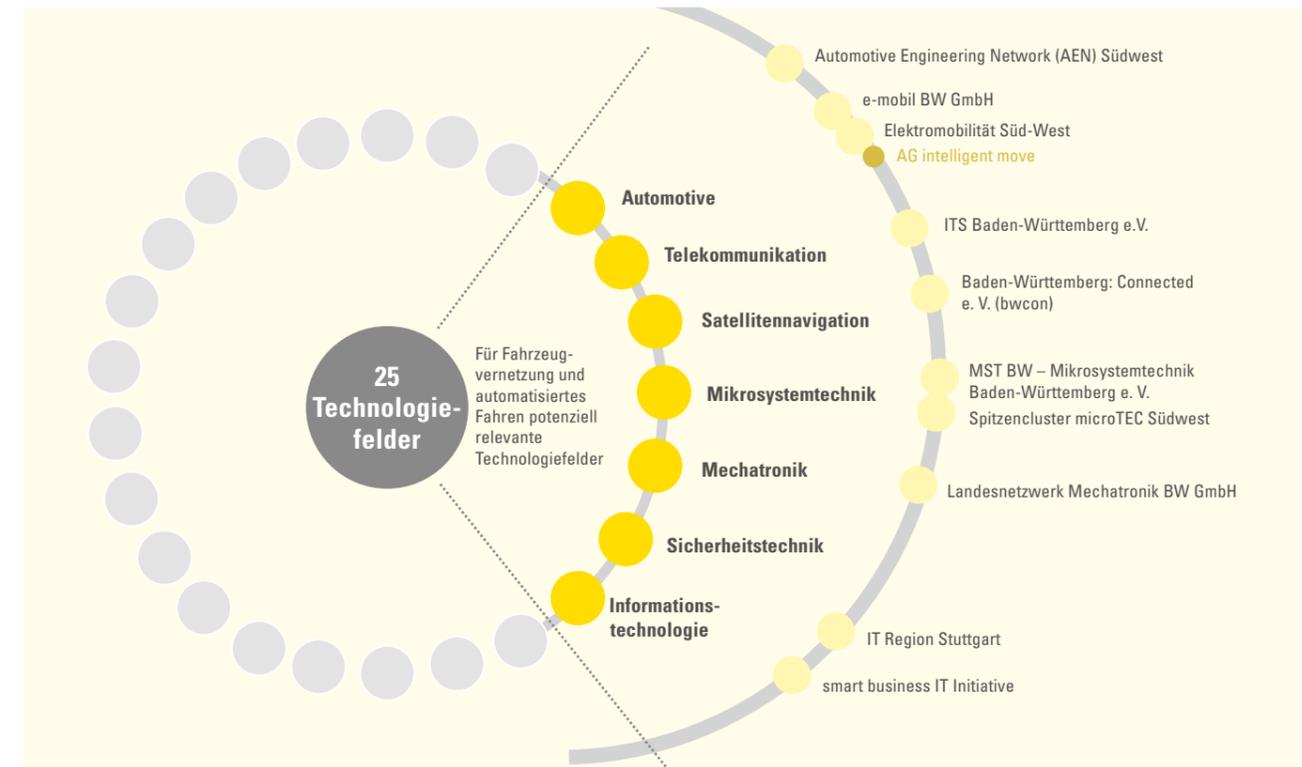


Abbildung 62: Bedeutung themenrelevanter Kompetenzen in Baden-Württemberg in den Technologiefeldern und Clusterinitiativen. (Eigene Darstellung; Anmerkung: Die zuvor identifizierten individuellen Akteure (siehe u. a. Abbildung 23) lassen sich zu einem Großteil diesen Initiativen zuordnen)

Der Blick auf die bereits in Baden-Württemberg im Themenfeld vernetztes bzw. automatisiertes Fahren tätigen Akteure und deren Branchenzugehörigkeit macht deutlich, dass insbesondere die Automobil- und die IKT-Industrie am Industriestandort Baden-Württemberg treibende Kräfte sind. Sowohl die relevanten Arbeitsgruppen bzw. Clusterinitiativen als auch die im Themenfeld aktiven Fördernehmer sind stark durch Unternehmen aus der Automobilindustrie (OEM, Zulieferer) sowie der IKT-Wirtschaft geprägt.¹⁴¹

Im Hinblick auf die geographische Verteilung der Erwerbstätigen in diesen Branchen in Baden-Württemberg zeigt sich (siehe Abbildung 63) zum einen, dass die Automobilindustrie stark durch die Produktionsstandorte (z. B. Böblingen, Sindelfingen, Rastatt)

zelter Regionen – v. a. im Nordwesten des Bundeslandes – in gewissem Maße konzentriert.

Auf Seiten der OEM im Automobilbereich ist seit längerem eine Tendenz zur Ausgliederung von Know-how im Softwarebereich und zur Ausgründung in eigenständige Unternehmen zu beobachten. Ein Beleg für die hohe Affinität des IT-Standorts Baden-Württemberg zum Anwendungsbereich Automotive zeigt sich u. a. in der Ansiedlung der BMW Car-IT (neben München auch in Ulm) sowie der e.solutions (eines Joint Venture von Audi und Elektrobit, siehe auch Tabelle 8, neben Ingolstadt und Erlangen seit 2013 auch am Standort Ulm¹⁴²). Darüber hinaus ist beispielsweise auch die IBM Deutschland GmbH mit dem Bereich Automotive Solutions in Baden-Württemberg (am Standort Ehningen im Landkreis Böblingen) ansässig.

¹³⁸ Vgl. MFB BW (2012). Siehe auch <http://www.clusterportal-bw.de/technologiefelder/>

¹³⁹ Innovationspolitische Unterstützung erfahren Unternehmen und Forschungseinrichtungen durch 87 Clusterinitiativen (Stand April 2015).

¹⁴⁰ Vgl. [e-mobil-sw.de](http://www.e-mobil-sw.de) (2015).

¹⁴¹ Dies wird deutlich im Hinblick auf die Zusammensetzung der Mitglieder der genannten Cluster sowie im Hinblick auf die im Themenfeld aktiven Fördernehmer (siehe hierzu auch die Erläuterungen zu Tabelle 14 sowie die Ausführungen in Abschnitt 3.1).

¹⁴² augsburger-allgemeine.de (2013).

Kapitel 5

Bedeutung der Automobilindustrie in Baden-Württemberg

Mit einem Jahresumsatz von rund 384 Mrd. EUR im Jahr 2014 ist die deutsche Automobilindustrie die umsatzstärkste Branche in Deutschland. Es befinden sich heute 30 Endmontagewerke mit einer Produktionsleistung von über einem Drittel der gesamten Automobilproduktion Europas in Deutschland. Mit rund 775.000 Beschäftigten (2014) ist die Automobilindustrie der zweitgrößte deutsche industrielle Arbeitgeber, hinter dem Maschinen- und Anlagenbau mit rund 1 Mio. Beschäftigten. Mit 5,6 Mio. im Inland hergestellten Pkw im Jahr 2014 ist Deutschland im internationalen Vergleich hinter Japan, China und den USA die viertgrößte Automobile produzierende Nation der Welt.¹⁴³

Innerhalb Deutschlands ist das Bundesland Baden-Württemberg einer der bedeutendsten Standorte für die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen: Mehr als ein Fünftel (ca. 97 Mrd. EUR 2014) des deutschlandweiten Branchenumsatzes wird in Baden-Württemberg erwirtschaftet.¹⁴⁴ Die hohe Bedeutung dieser Branche schlägt sich auch im Export nieder: Mit einem Anteil an der Gesamtausfuhr von fast 25 % waren dabei 2014 die Kraftwagen und Kraftwagenteile Baden-Württembergs wichtigstes

Exportgut und mit einem Wachstum von 12,5 % entscheidend am Exportaufschwung des Landes beteiligt.¹⁴⁵ Zudem werden vom Kraftwagensektor regelmäßig die höchsten Investitionen unter den Industriebranchen getätigt, mit zum Teil weit über 30 % des Investitionsvolumens der Südwestindustrie.¹⁴⁶

Die herausragende Bedeutung des Automobilbaus in Bezug auf die Wirtschaftsstruktur Baden-Württembergs wird in Abbildung 64 deutlich:

- Mit etwas mehr als 200.000 Beschäftigten gehört die Branche „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“ zu den zehn größten Branchen des Bundeslands (siehe Kreisgröße).
- Die Branche ist deutlich überdurchschnittlich am Standort konzentriert (siehe vertikale Achse: Spezialisierung, d. h. Lokalisationsgrad, im Verhältnis zu Deutschland).
- Die Branche hat im Betrachtungszeitraum (2008 bis 2013) eine positive Entwicklungsdynamik zu verzeichnen – innerhalb der Industriebranchen sogar die höchste (siehe horizontale Achse).

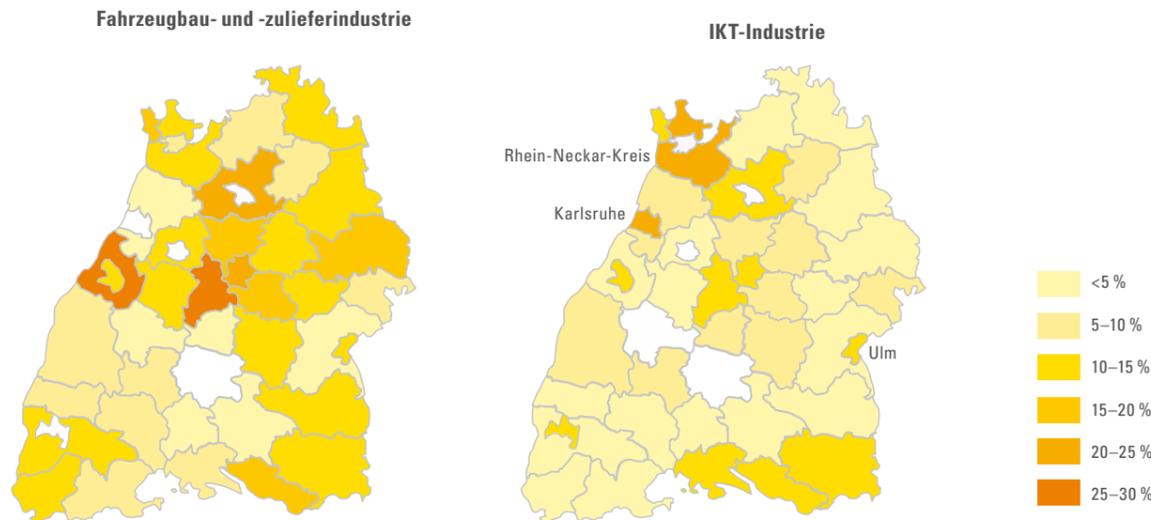


Abbildung 63: Anteil der Erwerbstätigen an der Gesamtzahl der Erwerbstätigen auf Kreisebene im Jahr 2013. (Eigene Darstellung; eigene Berechnung auf Basis der Daten der Bundesagentur für Arbeit (2014); Definition der IKT-Branche über Wirtschaftszweige 58, 61, 62, 63 nach Klassifikation WZ 2008)

¹⁴³ Vgl. BMWi (2015b).
¹⁴⁴ Vgl. SLA BW (2015a) sowie Statista (2015).
¹⁴⁵ Vgl. SLA BW (2015b).
¹⁴⁶ Vgl. automotive-bw.de (2015).

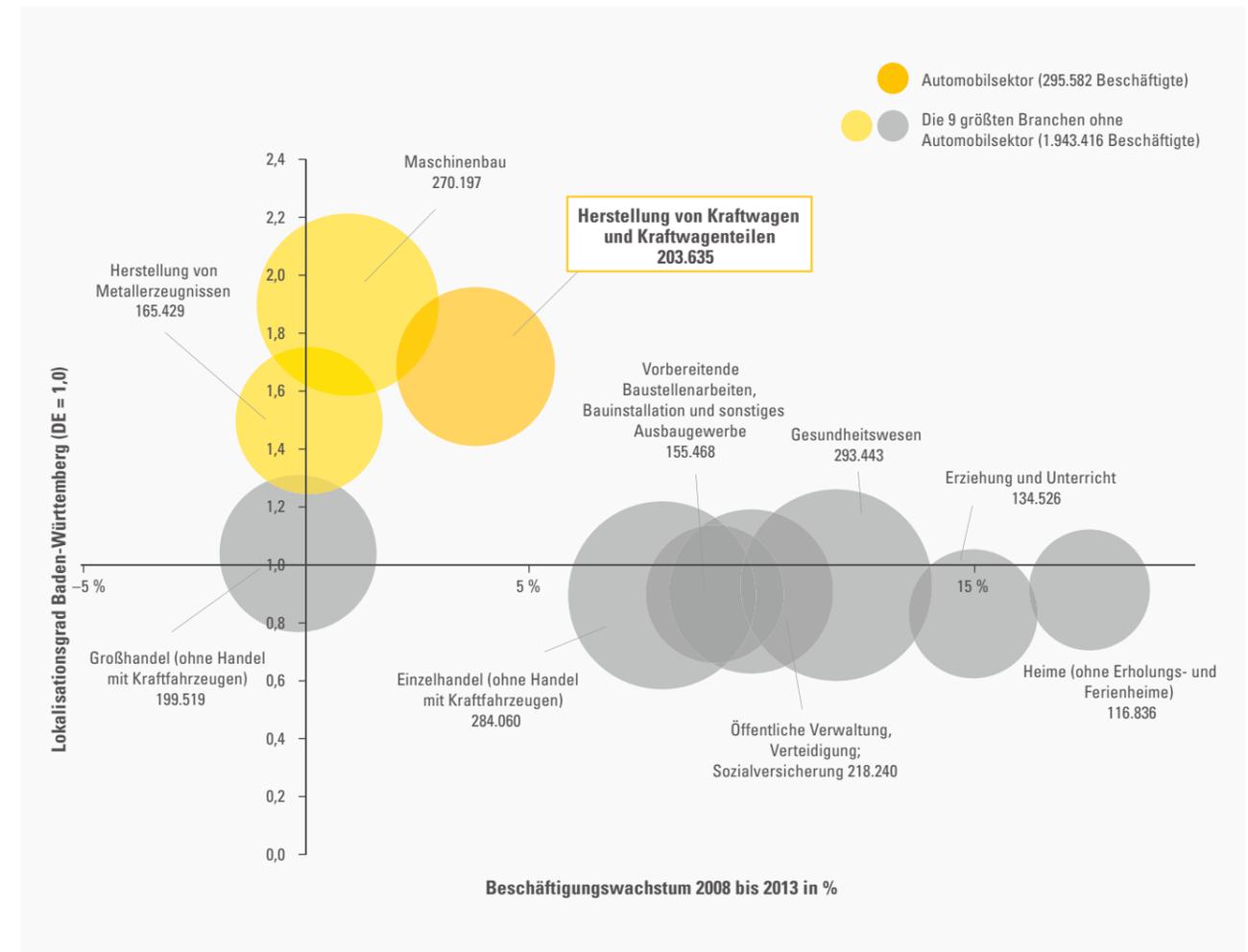


Abbildung 64: Entwicklung und Lokalisation des Automobilbaus, benachbarter Branchen und der zehn größten Branchen Baden-Württembergs 2008–2013. (Eigene Darstellung; Quelle: Bundesagentur für Arbeit (auf 2-Steller-Ebene nach Klassifikation der Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes); Anmerkung: Die zehn größten Branchen stellen 49 % der Gesamtbeschäftigten in Baden-Württemberg zum Stichtag 30.06.2013)

Der besondere Stellenwert der Branche wird auch im Vergleich mit den anderen Bundesländern deutlich: Mit fast 20 Beschäftigten pro 1.000 Einwohner nimmt Baden-Württemberg im deutschlandweiten Vergleich den zweiten Platz ein (siehe Abbildung 65).

Insgesamt sind knapp 750 Unternehmen, etwa ein Drittel der gesamten deutschen Unternehmen der Automobilindustrie, in Baden-Württemberg vertreten. Hinzu kommen über 2.000 Zulieferfirmen. Mit der Daimler AG und der Porsche AG in Stuttgart haben große OEM ihren Hauptsitz in Baden-Württemberg. Zusätzlich unterhält die Audi AG in Neckarsulm einen wichtigen

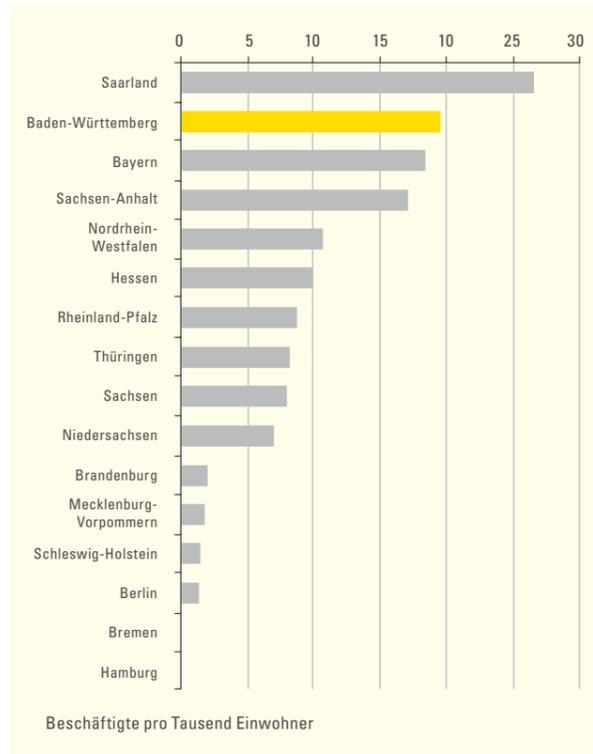


Abbildung 65: Fokussierung einzelner Bundesländer auf die Automobilindustrie (Beschäftigte pro Tausend Einwohner) im Jahr 2013. (Eigene Darstellung und Berechnung; Quelle: Destatis; Anmerkungen: Ausweisung für die Branche „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“. Für Bremen und Hamburg werden vom Statistischen Bundesamt aus Datenschutzgründen keine Daten in der verwendeten 2-Steller-WZ-Klassifizierung zur Herstellung von Kraftwagen und -teilen ausgewiesen)

Produktions- und Entwicklungsstandort im Land. Ebenso sind im Bereich der Nutzfahrzeuge große Unternehmen wie z. B. die Mercedes-Benz Lkw (Daimler AG), die Volvo Busse Deutschland GmbH und die Kässbohrer Geländefahrzeug AG im Land vertreten. Hinzu kommen bedeutende Zulieferunternehmen der Automobilbranche wie die Robert Bosch GmbH, die ZF Friedrichshafen AG sowie eine Vielzahl von weltweit agierenden klein- und mittelständischen Zulieferunternehmen der Automobilbranche mit Hauptsitz in Baden-Württemberg.¹⁴⁷

Im Vergleich mit anderen Industriezweigen investiert die Automobilindustrie mit jährlich etwa 27 Mrd. EUR am meisten Geld in Forschung und Entwicklung.¹⁴⁸ In Baden-Württemberg werden dabei im Fahrzeugbau von den Unternehmen 40 % der in Deutschland insgesamt aufgewendeten FuE-Ausgaben getätigt und rund 37 % des gesamten FuE-Personals beschäftigt. Über die Hälfte aller FuE-Aufwendungen der baden-württembergischen Industrie, ca. 6 Mrd. EUR, wird von der Automobilindustrie aufgebracht.¹⁴⁹

Chancen und Risiken für den Standort Baden-Württemberg

Die Aktivitäten von Unternehmen und Forschungseinrichtungen auf dem Weg zur Realisierung des vernetzten und automatisierten Fahrens lassen sich verschiedenen Stufen zuordnen (siehe Abbildung 66): von der Forschung und Entwicklung von Technologien bis hin zu deren Integration zu Fahrzeugsystemen. Darüber hinaus können Anwendungen ab einer bestimmten Durchdringung des Marktes mit solchen Produkten oder Dienstleistungen entwickelt und angeboten werden.

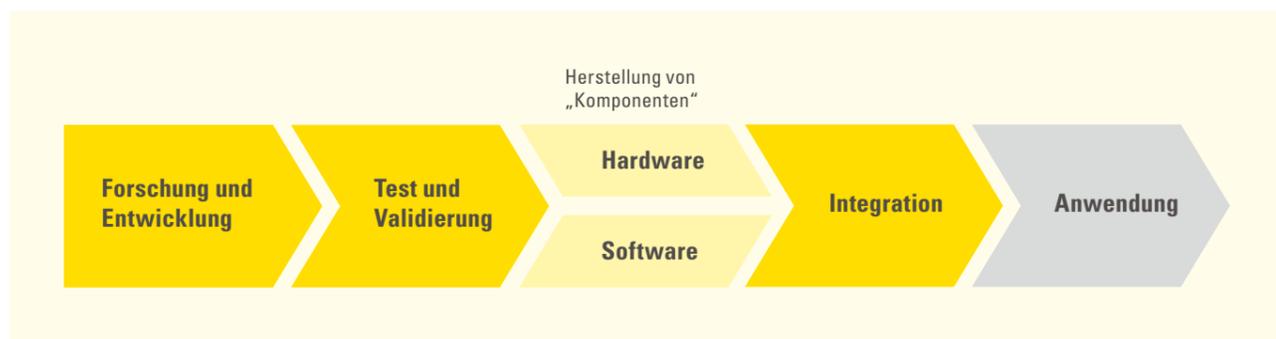


Abbildung 66: Stufen der Wertschöpfung. (Eigene Darstellung)

Die Aktivitäten und Perspektiven baden-württembergischer Unternehmen innerhalb dieser einzelnen Stufen sollen im Folgenden im Hinblick auf Chancen und Risiken dargestellt werden.

Im Bereich der **Forschung und Entwicklung** setzen baden-württembergische Unternehmen und Forschungseinrichtungen Akzente. Dies dokumentiert die Beteiligung einer Vielzahl von Großunternehmen und Forschungseinrichtungen an regionalen, nationalen und europäischen FuE-Projekten. Auch große Zulieferer demonstrieren durch den Bau von Prototypen ihre technologische Leistungsfähigkeit und positionieren sich als zukünftiger Lieferant von Hard- und Software. Baden-Württemberg wird damit als wichtiger Akteur wahrgenommen.

Hier bietet sich die Chance, auch zukünftig wesentliche technologische Entwicklungen mitzugestalten und an der Überführung in Standards und Normen aktiv mitzuwirken. Baden-württembergische Unternehmen und Forschungseinrichtungen können auf eine Vielzahl von Referenzprojekten zurückgreifen und sind in vorwettbewerblichen Zusammenarbeitsformen wie z. B. dem Cluster Elektromobilität Süd-West gut organisiert. Sie haben damit gute Chancen, Projektideen in öffentlich geförderten Forschungsprogrammen umzusetzen. Es zeigt sich, dass gegenwärtig sowohl auf Bundes- als auch auf EU-Ebene Impulse für neue Forschungsprogramme gesetzt werden (siehe auch Tabelle 9).

Auch für kleinere Unternehmen ergibt sich eine Vielzahl von Chancen. Der Raum zur technologisch-konstruktiven Umsetzung von vernetzten sowie automatisiert fahrenden Fahrzeugen eröffnet viele Potenziale, eigene spezifischen Technologien oder Verfahren zu entwickeln, darüber ein Alleinstellungsmerkmal zu generieren und diese Technologie am Markt anzubieten.¹⁵⁰ Es zeigt sich mit Blick auf die bisherigen geförderten FuE-Aktivitäten allerdings auch, dass sich wenige KMU im Kreis der Geförderten befinden und dass bestehende, erfolgreiche Kooperationsverbände fortgeführt werden und eher selten um neue, externe Partner ergänzt werden.

Für KMU bietet sich auch die Chance, Anwendungsbereiche der Automatisierung jenseits der Automobilindustrie, z. B. im Bereich der Arbeitsmaschinen, zu erschließen.

Sollten einst autonome Fahrzeuge realisiert werden, bedarf es neuer Innenraumkonzepte. Fahrzeuge lassen sich in Zukunft statt über ein Lenkrad über Sprache oder Gestik steuern. Dies bietet inhaltliche Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschungsaktivitäten.

Der Wissenschaftsstandort Baden-Württemberg zeichnet sich durch eine hohe Agilität und Anpassungsfähigkeit aus. Neue Forschungsbereiche und Arbeitsgruppen, die sich spezifischen technologischen Fragestellungen widmen, wurden definiert und etabliert.¹⁵¹ Die geographische Konzentration der Forschungseinrichtungen – insbesondere in Karlsruhe, Stuttgart und Ulm (siehe Abbildung 59) – auf die Standorte der Automobil- und IKT-Industrie erweist sich im Hinblick auf den Wissenstransfer zwischen Wirtschaft und Wissenschaft als vorteilhaft.

Das **Testen und Validieren** von Systemen, die eine Fahrzeugvernetzung bzw. Automatisierung von Fahrfunktionen ermöglichen, ist eine zentrale Voraussetzung für die Überführung in marktfähige Produkte.

In diesem Bereich zeigt sich eine starke, v. a. durch KMU geprägte Unternehmenslandschaft. Darüber hinaus findet sich eine Reihe von Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg, die sich spezifisch dieser Thematik widmen.

Die lokal ansässigen KMU haben sich in den vergangenen Jahren dynamisch entwickelt und prognostizieren für die nächsten fünf Jahre eine Verdrei- bzw. Vervielfachung der Umsätze.¹⁵²

Die in diesem Themenfeld tätigen Unternehmen können dabei auf das methodische Know-how zahlreicher Forschungseinrichtungen zurückgreifen. Der Wissenstransfer – teilweise auch in Form von Personaltransfers – zwischen Wissenschaft und Wirtschaft funktioniert.¹⁵³

Dieses Know-how lässt sich zukünftig auch anderen, außerhalb des Bundeslandes Baden-Württemberg ansässigen OEM anbieten. Darüber hinaus ist es applizierbar auf andere Anwendungen außerhalb des hier betrachteten Kontextes – z. B. im Bereich der Luftfahrt oder des Schienenverkehrs. Die dort eingesetzten Systeme weisen in Teilen bereits heute schon einen höheren Grad der Automatisierung von Fahrfunktionen auf.

¹⁴⁷ Vgl. bw-invest.de (2015).

¹⁴⁸ Vgl. make-it-in-germany.de (2015).

¹⁴⁹ Vgl. bw-invest.de (2015).

¹⁵⁰ Siehe hierzu die genannten Positivbeispiele der Firmen ATLATEC (im Technologiefeld Lokalisierung/Digitale Karten) sowie Paravan (im Technologiefeld Aktorik).

¹⁵¹ Siehe hierzu auch das Beispiel KIT (Abbildung 61).

¹⁵² Quelle: Interviewergebnisse.

¹⁵³ Quelle: Interviewergebnisse.

Kapitel 5

Der Beginn der seriennahen Fertigung von **Komponenten** wie Hardware und Software zur Realisierung des vernetzten und automatisierten Fahrens für den Massenmarkt steht noch aus.

In Baden-Württemberg beheimateten Zulieferern gelingt es heute schon, überdurchschnittlich erfolgreich an der Marktentwicklung, z. B. im Bereich des teilautomatisierten Fahrens, zu partizipieren. So verkündet das Unternehmen Bosch, dass der Umsatz im Bereich der Fahrerassistenzsysteme gegenwärtig pro Jahr um ein Drittel wächst.¹⁵⁴

Hier bieten sich für den Standort Baden-Württemberg Chancen, sich auch zukünftig als Produktionsstandort für spezifische Komponenten für Fahrzeugsysteme, die vernetztes oder hoch- und vollautomatisiertes Fahren erlauben, zu etablieren.

Die Fähigkeit, **technologische Lösungen in ein Gesamtsystem zu integrieren**, dokumentiert eine Reihe seitens baden-württembergischer Akteure entwickelter und vorgestellter Fahrzeugprototypen.

Allerdings sind Prototypen und Testfahrten von Akteuren, die anderen geographischen Räumen und teilweise anderen Branchen entstammen, deutlich stärker in der öffentlichen Wahrnehmung sichtbar (siehe hierzu auch die Darstellungen in den Abschnitten 3.2 und 3.3).

Dahingegen werden die in verschiedenen Bundesländern bestehenden Planungen zum Aufbau bzw. zur Verfügbarmachung öffentlicher Teststrecken stark kommuniziert und mit Engagement vorangetrieben. Während OEM auch über die finanziellen und personellen Ressourcen für den Aufbau eigener Testgelände verfügen, wird den Anforderungen von KMU an den geographischen und funktionalen Umfang von öffentlichen Testgeländen jedoch nur wenig Aufmerksamkeit gewidmet.¹⁵⁵ Dies stellt für sie im Hinblick auf ihr Engagement gegenwärtig ein Risiko dar, da sich der Übergang der technologischen Lösungen im Bereich des vernetzten und automatisierten Fahrens vom Labor auf die Straße aktuell vollzieht.

Neue **Anwendungen**, die auf Produkten des vernetzten bzw. automatisierten Fahrens aufbauen, sind heute noch weniger greifbar. Die Tatsache, dass OEM sich bereits heute als Anbieter von Mo-

bilitätsdienstleistungen erfolgreich etablieren (z. B. Daimler mit moovel) zeigt, dass sie selbst begonnen haben, ihre Rollen neu zu definieren.

Eine Durchdringung der Bestandsfahrzeugflotte mit vernetzt bzw. automatisiert fahrenden Fahrzeugen erlaubt perspektivisch auch, Verkehre neu zu organisieren (siehe hierzu auch Abschnitt 4.3). Hier bietet sich für baden-württembergische Unternehmen und Forschungseinrichtungen die Chance, sich frühzeitig z. B. mit neuen Konzepten der Verkehrssteuerung zu beschäftigen und diese bspw. im Rahmen von Forschungsprojekten zu adressieren.

Schließlich ist festzuhalten, dass das Bundesland Baden-Württemberg ein hohes eigenes Anwendungspotenzial aufweist: Vernetzte und automatisiert fahrende Fahrzeuge können bedeutende Beiträge zur Steigerung der Verkehrssicherheit, zur Steigerung der Leistungsfähigkeit bzw. zur besseren Ausnutzung des bestehenden Straßenverkehrssystems sowie zur Senkung der Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg beitragen.

¹⁵⁴ Vgl. Wirtschaftswoche.de (2015).

¹⁵⁵ Quelle: Interviewergebnisse.



RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

6.1 EINFÜHRUNG

Juristen unterscheiden zwischen dem vollautomatisierten und dem hochautomatisierten Fahren.

Das vollautomatisierte Fahren berücksichtigt auch das Fahren ohne Fahrer; dieses Steuern des Fahrzeugs wird hier nur am Rande erwähnt, weil es auf der Grundlage selbst gerade veränderter Rechtsvorschriften auf öffentlichen Straßen noch nicht zulässig ist.

Hochautomatisiertes Fahren bedeutet nach dem mittlerweile üblichen Sprachgebrauch ein Fahren des Fahrzeugs unter Fahrerbegleitung bei regelmäßig automatisierter Steuerung des Fahrzeugs, aber mit der Möglichkeit der jederzeitigen Übernahme der Fahrzeuglenkung durch den Fahrer.

Daneben steht das teilautomatisierte Fahren, das hier im Zusammenhang mit den Fahrerassistenzsystemen (FAS), wie sie schon vielfach in den Fahrzeugen verwendet werden, in die Untersuchung einbezogen wird.

Der Unterschied zwischen dem hochautomatisierten Fahren und der Fahrzeuglenkung durch den Fahrer unter Hilfe von Fahrerassistenzsystemen ist teilweise nur graduell. Es ist gerade die Vielzahl von elektronischen Fahrerassistenzsystemen, die vom teilautomatisierten zum hochautomatisierten Fahren führt. Für die rechtliche Beurteilung geht es deshalb in erster Linie darum, die verschiedenen Wirkungen der Assistenzsysteme zu bewerten.

Bei den Fahrerassistenzsystemen ist hinsichtlich der straßenverkehrsrechtlichen Zulassung zwischen drei Systemen zu unterscheiden.

1) Es gibt Assistenzsysteme, die den Fahrer in dem Sinne unterstützen, dass sie zusätzliche Sicherheit schaffen. Dies ist dann gegeben, wenn der Fahrer den jeweiligen Vorgang in jeder Phase beobachten und in jeder Phase auch abbrechen kann. Zu solchen Fahrerassistenzsystemen gehören z. B. Einparkhilfen und Bremshilfen.

Sie sind zulassungsrechtlich unbedenklich, weil sie im Sinne des (europäisch harmonisierten) Straßenverkehrszulassungsrechts (insbes. § 30 StVZO) die Sicherheit erhöhen.

2) Zur zweiten Kategorie gehören Warnsysteme, die nicht unmittelbar in den Geschehensablauf eingreifen, sondern den Fahrer auf Gefahrensituationen hinweisen, z. B. „Vorsicht, Hindernis voraus“ oder „Vorsicht, Stauende gleich erreicht“.

Zumindest problematisch sind diese Warnungen, wenn sie mit hoher Wahrscheinlichkeit das Fahrverhalten des Fahrers beeinflussen, dieser aber die Gefahrensituation nicht erkennen kann – wenn sich etwa das Hindernis hinter einer Kurve befindet. Zulassungsrechtlich sind sie in dem Umfang unbedenklich, in dem der Fahrer intellektuell wie voluntativ bei entsprechender Unterweisung damit sachgerecht umgehen kann (Stichwort: keine Überforderung).

Kernproblem:

3) Die dritte Kategorie ist zulassungsrechtlich aus heutiger Sicht zumindest problematisch.

Über die Funktion „Warnung“ hinaus greift das System aktiv unterstützend oder automatisch handelnd in das Fahr-geschehen ein. Hierzu gehören z. B. der Querverkehrskreuzungsassistent und die Notbremsfunktion. Bei diesen Funktionen wird die Entscheidung des Fahrers ersetzt. Der Fahrer könnte zwar immer noch das entsprechende System überhaupt ausschalten; er hat aber mangels selbst wahrgenommener bzw. vollständig wahrgenommener Gefahrensituation keine bzw. keine umfassenden Entscheidungshinweise – er ist dem System unterlegen bzw. von ihm abhängig; es gibt keine der Gefahrenlage entsprechenden Wahrnehmungen.

Diese dritte Kategorie ist nach dem Straßenverkehrsrecht nur dann zulässig, wenn die entsprechenden technischen Systeme nach dem Stand von Wissenschaft und Technik konstruiert und produziert wurden und die verbleibenden Restrisiken nicht höher eingeschätzt werden als bei vorhandenen Assistenzsystemen (ABS, ESP).

6.2 STRASSENVERKEHRSRECHTLICHE ZULASSUNG

1. Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr

Eine zentrale zulassungs- wie auch haftungsrechtliche Bedeutung für Fahrerassistenzsysteme (FAS) wie auch technische Systeme zum hochautomatisierten Fahren hat das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr (WÜ).

Kernelement des WÜ ist die Verpflichtung der Vertragsstaaten, dafür Sorge zu tragen, dass innerstaatliche Regelungen – u. a. betreffend die Zulassung und die Haftung – den Grundsätzen des WÜ nicht entgegenstehen, die nationalen Regeln vielmehr mit denen des WÜ in Einklang gebracht werden (Art. 3 WÜ).

Zwei Vorschriften des WÜ waren für das Fahren mit Fahrerassistenzsystemen und erst recht für das hochautomatisierte Fahren von Bedeutung, namentlich die Art. 8 und 13 WÜ, die im 2. Kapitel („Verkehrsregeln“) des WÜ aufgeführt sind:

Art. 8 des Wiener Übereinkommens

(1) Jedes Fahrzeug und miteinander verbundene Fahrzeuge müssen einen Führer haben. [...]

(5) Jeder Führer muss dauernd sein Fahrzeug beherrschen. [...]

Art. 13 des Wiener Übereinkommens

(1) Jeder Fahrzeugführer muss unter allen Umständen sein Fahrzeug beherrschen, um den Sorgfaltspflichten genügen zu können und ständig in der Lage zu sein, alle ihm obliegenden Fahrbewegungen auszuführen. [...]

Ende März 2014 hat die UN das Wiener Übereinkommen überarbeitet. Nun sind sichere Systeme, die die Führung eines Fahrzeugs beeinflussen, zulässig, wenn sie jederzeit vom Fahrer überstimmt oder abgeschaltet werden können. Die Änderung schafft somit den regulatorischen Rahmen für aktuelle Fahrerassistenzsysteme (wie z. B. den **Abstandsregeltempomat**), die bereits viele Fahraufgaben übernehmen. Nach dieser Regelung in der WÜ ist auch hochautomatisiertes Fahren erlaubt, soweit der Fahrer jederzeit seine Entscheidung umsetzen kann, selbst zu fahren.

Mit der oben genannten Änderung der WÜ im Mai 2014 ist bezweckt worden, zumindest hochautomatisiertes Fahren zu ermöglichen. Die Vertragsänderungen müssen von den Mitgliedstaaten noch ratifiziert werden.

Das Zulassungsrecht der Bundesstaaten der USA enthält bislang keine Sonderregelungen für hochautomatisiertes Fahren. In einzelnen Bundesstaaten der USA werden zurzeit aber öffentliche Straßen zu Versuchszwecken für hochautomatisiertes Fahren freigegeben.

Kernergebnis:

Es ist nun in Abkehr von der alten Regel ein Fahren erlaubt, bei dem der Fahrer nicht jeden Handlungsablauf überschauen bzw. beherrschen muss. Es geht nicht mehr darum, dass der Fahrer in jeder Situation die Möglichkeit zur Beherrschung hat, das war vormals verlangt; es genügt, dass er das autonome Fahren stoppen kann, ohne dass für ihn erfahrbar sein muss, was in der konkreten Situation gerade passiert.

Das ist ein großer und bedeutsamer Unterschied zur alten Regelung, der durch die technische Entwicklung begründet ist, nämlich dass im Zuge der Weiterentwicklung der Technik sehr viele Fahrvorgänge sicherer durch autonomes Fahren gewährleistet sind und beim Fahrer nur noch wenig Kontrollmöglichkeiten hinsichtlich der einzelnen technischen Vorgänge nötig sind.

Kapitel 6

Tatsächlich wurde dies schon vormals dadurch anerkannt, dass ein ABS, dessen Vorgänge auch vom Fahrer nicht in allen Einzelheiten überwacht werden können, mit der Bauartzulassung vereinbar war.

Verlangt ist aber, dass der Fahrer jederzeit die Möglichkeit der völligen Übernahme der Steuerung hat. Damit ist vollautomatisiertes Fahren, also ein Fahren auch ohne Fahrer, nicht zulässig.

Es ergeben sich in diesem Zusammenhang dann aber auch Problembereiche für das hochautomatisierte Fahren.

Soweit darauf abgestellt wird, dass die Übernahme der Steuerung von der jeweiligen Ausführungsweise des Assistenzsystems abhängig sein soll – dass also die Übernahme erfolgt, wenn die automatische Steuerung dem Fahrer gefährlich erscheint –, könnten nicht alle technisch möglichen Steuerungssysteme erlaubt sein.

Es könnten demnach Systeme ausgeschlossen sein, die völlig außerhalb der Wahrnehmung des Fahrers ablaufen – wie z. B. Bremsenleitungen wegen einer Unfallstelle, die vom Fahrer nicht einsehbar ist.

Der Fahrer kann bei solchen Assistenzsystemen nicht mehr erkennen, ob die eingeleitete Situation wirklich notwendig oder aber unnötig gefährlich ist.

Seine Entscheidungsmöglichkeiten, einzugreifen, sind eingeschränkt; es fehlt die sachlich begründbare Orientierungsmöglichkeit. Verlangt ist aber, dass der Fahrer Kenntnis darüber hat, welche Vorgänge überhaupt eingeleitet bzw. durchgeführt werden und warum dies geschieht.

Es sind demnach Systeme aus rechtlicher Sicht problematisch, die völlig außerhalb der Wahrnehmung des Fahrers ablaufen.

2. Hochautomatisiertes Fahren ohne Erkennbarkeit von Gefahrensituationen durch den Fahrer

Das WÜ regelt nur die Verhaltenspflichten des Fahrzeugführers und nicht die Frage nach der Zulassung eines technischen Sys-

tems bzw. eines Fahrzeugs mit bestimmten technischen Funktionen.

Die Zulassung eines Fahrzeugs kann grundsätzlich nicht von einer Verhaltenspflicht des Fahrers abhängig gemacht werden.

Wenn nun vom Fahrer nicht mehr verlangt ist, dass er ganz konkret alle ablaufenden technischen Vorgänge zur Steuerung des Fahrzeugs erfassen muss, um selbst entsprechend reagieren zu können, so muss zulassungsrechtlich eine Technik vorhanden sein, die den Fahrer „sicher“ ersetzt.

Kernergebnis:

Zulassungsrechtlich verlagert sich die Forderung nach Eingriffsmöglichkeiten des Fahrers auf die Sicherheit des seinen Eingriff ersetzenden Systems.

3. Fahrzeugzulassung – Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung

a)

Für die Zulassung eines Fahrzeugs mit technischen Leitsystemen ist § 30 StVZO maßgeblich, wonach ein Fahrzeug so gebaut und ausgerüstet sein muss, dass sein verkehrsbüblicher Betrieb niemanden schädigt oder mehr als unvermeidbar gefährdet, behindert oder belästigt (§ 30 Abs. 1 Nr. 1 StVZO). Ferner muss nach § 30 Abs. 1 Nr. 2 StVZO sichergestellt werden, dass die Insassen insbesondere bei Unfällen vor Verletzungen möglichst geschützt sind und das Ausmaß sowie die Folgen von Verletzungen möglichst gering bleiben.

§ 30 StVZO gewährleistet die Verkehrssicherheit und stellt somit eine **Generalregel für die Beschaffenheit eines Fahrzeugs dar**,¹⁵⁶ die noch über die speziellen Bestimmungen für Bauart und Ausrüstung (§§ 32–62 StVZO) hinausgeht und vom Hersteller daher stets zu beachten ist. Das bedeutet, dass ein Fahrzeug den gesetzlichen Anforderungen an Bauart und Ausrüstung entsprechen und sich obendrein in einem Zustand befinden muss, wie er im Hinblick auf die Verkehrssicherheit und die Pflicht, Schäden und Belästigungen anderer zu vermeiden, erforderlich ist.¹⁵⁷

§ 30 StVZO Beschaffenheit der Fahrzeuge

(1)

Fahrzeuge müssen so gebaut und ausgerüstet sein, dass

1. ihr verkehrsbüblicher Betrieb niemanden schädigt oder mehr als unvermeidbar gefährdet, behindert oder belästigt,

2. die Insassen insbesondere bei Unfällen vor Verletzungen möglichst geschützt sind und das Ausmaß und die Folgen von Verletzungen möglichst gering bleiben.

Betrachtet man § 30 StVZO näher, so folgt aus dem Wortlaut „Fahrzeuge müssen so gebaut und ausgerüstet sein“, dass es im Rahmen des § 30 StVZO **nur auf den Zustand, die Beschaffenheit des Fahrzeugs und seiner Bauteile/Funktionen ankommen darf** und nicht auf das Verhalten des Fahrers, d. h. in welcher Weise der Fahrer individuell mit ihnen umgeht.¹⁵⁸ Dieser Gesichtspunkt bleibt im Rahmen des § 30 StVZO ausgeblendet.

Es kommt zulassungsrechtlich nicht darauf an, dass der Fahrer in jeder Fahrsituation eine sachlich begründbare Entscheidung für das Eingreifen treffen kann.

Es ist verlangt, dass das Fahrzeug, seine Bauart oder die Ausrüstung des Fahrzeugs mit technischen Systemen im Rahmen seiner **allgemein gebräuchlichen Verwendungsart**¹⁵⁹ bereits die abstrakte Gefahr für einen konkreten Schadenseintritt begründen könnte oder eben nicht.

Nur wenn Letzteres anzunehmen wäre, müsste man von einem Verstoß gegen § 30 StVZO ausgehen und die Betriebserlaubnis wäre zu versagen.¹⁶⁰

b)

Voraussetzung für die weitere Einbeziehung der Technik ist selbstverständlich ein hoher Sicherheitsstandard.

Bei der Bemessung dieses Sicherheitsstandards wird zu berücksichtigen sein, dass die Sicherheit nicht daran orientiert

Kernergebnis:

Das Zulassungsrecht erlaubt Leitsysteme, die sicher sind. Die Sicherheit kann sich sowohl daraus ergeben, dass der Fahrer mit in die Systeme eingebunden ist und insofern „normalerweise“ seinen Teil zur Sicherheit beitragen kann; Sicherheit kann aber auch bedeuten, dass menschliche Mitwirkungen durch technische Systeme ersetzt werden. Nach dem deutschen wie dem europäischen Zulassungsrecht sind beide Möglichkeiten vorgesehen.

sein darf, was die Fahrer durchschnittlich – orientiert am durchschnittlich befähigten Fahrer – an Sicherheit erreichen.

Der Orientierungsmaßstab muss wesentlich höher angesetzt werden, weil durch die den Fahrer ersetzende Technik auch befähigtere Fahrer nicht ausgeschlossen werden dürfen; diesen Fahrern ist eine ihre Sicherheitsinteressen nicht hinreichend berücksichtigende Technik nicht zumutbar.

Die Sicherheitsrisiken der Technik müssen sich auf sehr selten eintretende Ausreißer begrenzen lassen.

Kernergebnis:

Technische Leitsysteme, die die Fahrzeugsteuerung durch den Fahrer ersetzen, sind sowohl für die Fahrsituationen erlaubt, die der Fahrer übersehen kann, sie sind aber auch für die Fahrsituationen erlaubt, die der Fahrer hinsichtlich der Notwendigkeit ihrer Durchführung nicht mehr übersehen kann. Voraussetzung ist in jedem Fall ein bei der technischen Einrichtung vorhandenes Sicherheitsniveau, das sicherheitsrelevante Fehler auf statistisch zu vernachlässigende Ausreißer eingrenzt.

¹⁵⁶ Hentschel et al. (2009): StVZO, § 30 Rn. 2.

¹⁵⁷ BayObLG VM 1974, S. 28, 29 mwN.

¹⁵⁸ BGH VRS 12, S. 231 (232); OLG Düsseldorf VRS 74, S. 294.

¹⁵⁹ Hentschel et al. (2009): StVZO, § 30 Rn. 4 f. – eine falsche Verwendung durch den Fahrer außerhalb der „gewöhnlichen“ Nutzung soll daher nicht unter § 30 StVZO fallen.

¹⁶⁰ Rüh et al. (1988) StVZO, § 30 Rn. 10. Behinderungen und Belästigungen, die von einem Fahrzeug üblicherweise mit dem bloßen Führen im Straßenverkehr verbunden sind, fallen nach OVG Münster NZV 1999, S. 102 ff. nicht unter § 30 Abs. 1 Nr. 1 StVZO.

Kapitel 6

6.3 ZIVILRECHTLICHE HAFTUNG, INSBES. PRODUKTHAFTUNG

1. Einführung

Für die Frage nach der Haftung für fehlerhafte und zur Schädigung Dritter führender automatische Leitsysteme ist zwischen zwei Haftungsfragen zu unterscheiden.

Auf der Grundlage des geltenden Rechts gibt es die Gefährdungshaftung des Fahrzeughalters, in Deutschland auf der Grundlage von § 7 StVG (Straßenverkehrsgesetz). Dies bedeutet, dass der Halter auch für Schäden haftet, die ohne sein Verschulden und auch ohne ein auf ihn zurückführbares rechtswidriges Verhalten entstanden sind.

Er haftet zum Ausgleich für die Betriebsgefahr, die von dem von ihm unterhaltenen Fahrzeug für andere ausgeht. Er haftet auch für das Versagen aller technischen Einrichtungen seines Fahrzeugs.

Ausgeglichen wird dieser stringente Haftungstatbestand durch das Pflichtversicherungsgesetz, nach dem der Halter sein Fahrzeug hinsichtlich Personen- und Sachschäden zu versichern hat, sog. Haftpflichtversicherung. Die Pflicht zur Versicherung ist von großer Bedeutung, sie ist strafbewehrt.

Der zum Schadensausgleich verpflichtete Halter kann allerdings den evtl. für den Schaden verantwortlichen Hersteller in den Regress nehmen, ebenso die Versicherung des Halters; auch der geschädigte Dritte kann sich unmittelbar an den Hersteller fehlerhafter Leitsysteme für den Schadensausgleich halten.

Unabhängig davon, wie die Geschädigten vorgehen bzw. der Halter oder seine Versicherung den Regresspflichtigen (Hersteller) in Anspruch nehmen will, stellen sich zwei Fragen:

- Werden die Haftpflichtversicherer künftig die Risiken nur zu erhöhten Prämien versichern oder sogar im Hinblick auf die neue Gefahrenlage die Versicherung von bestimmten Risiken ausschließen?
- Unter welchen Voraussetzungen ist der Hersteller des Fahrzeugs haftbar und sind diese Voraussetzungen gegen-

über den Geschädigten bzw. den der Gefährdungshaftung unterliegenden Haltern interessengerecht?

2. Versicherbarkeit der Risiken und Herstellerhaftung

Kernergebnis:

a) Bisher wurden alle für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassenen Fahrerassistenzsysteme von den Haftpflichtversicherern begrüßt und haben nicht zu Prämien erhöhungen geführt. Die Versicherungen werden mit großer Wahrscheinlichkeit Fahrerassistenzsystemen bis hin zum hochautomatisierten Fahren positiv gegenüberstehen, weil diese Systeme nur für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassen werden dürfen, wenn sie das Sicherheitsniveau auch besonders umsichtiger und erfahrener Fahrer noch übersteigen. Es gibt demnach keinen ersichtlichen Grund für Prämien erhöhungen oder Ausschlüsse von Risiken.

b) Davon unabhängig ist die Haftungsfrage der Fahrzeughalter zu klären. Auch wenn Halter und Haftpflichtversicherer weiterhin der Gefährdungshaftung unterliegen, so besteht auch nach wie vor die Regressmöglichkeit beim Hersteller bzw. bei den Zulieferern des Herstellers.

Die relevanten Systeme sind durch Software gesteuert. Es wird bei der Haftung zuvörderst um die Frage nach der Haftung für fehlerhafte Software gehen und damit verbunden um die Frage, ob das für den Verbraucherschutz in erster Linie in Betracht kommende Produkthaftungsgesetz vor fehlerhafter Software schützt.

3. Haftet der Hersteller für fehlerhafte Software nach dem (für den Binnenmarkt harmonisierten) Produkthaftungsgesetz (ProduktHaftG)?

a) Die Haftung nach dem Produkthaftungsgesetz ist nicht nur für den Verbraucherschutz von großer Bedeutung, sondern auch wegen seiner im gesamten Binnenmarkt bzw. europäischen Wirtschaftsraum bestehenden Geltung von großer Bedeutung.

Das ProdHaftG geht auf die EG-Richtlinie Produkthaftung zurück und gilt nach jeweils nationalstaatlicher Umsetzung in allen Mit-

gliedstaaten der Union (ProdHaftRI vom 25.07.1985; in Deutschland mit dem ProduktHaftG mit Wirkung vom 01.01.1990 umgesetzt).

Die Körperlichkeit der Sache ist konstitutives Merkmal des Produktbegriffs im ProdHaftG. Damit stellt sich die Frage nach der Produkteigenschaft von Software, die auf irgendeine Weise im Kfz genutzt wird.

Die Definition des Produkts in § 2 ProdHaftG legt eine weite Auslegung des Begriffs nahe, so dass körperliche Sachen schon unabhängig von ihrer Herstellungsart (industriell, handwerklich, Einzelstück, künstlerisch), ihrem Alter (Neu- bzw. Gebrauchtware) und ihrem Verwendungszweck von der Vorschrift erfasst werden. Aus dem Umstand, dass auch Sachen, die Teile anderer beweglicher oder unbeweglicher Sachen sind, als Produkt anzusehen sind, folgt die für die arbeitsteilig vorgenommene Fertigung wesentliche Erkenntnis, dass der Einbau einer (wenn auch nur untergeordneten) Komponente in eine Gesamtsache keineswegs zum Ausschluss der Produkthaftung mit Blick auf diese Komponente führt. Folgerichtig bezeichnen § 1 Abs. 3, § 4 Abs. 1 Satz 1 ProdHaftG auch den Hersteller eines Teilprodukts als möglichen Haftungsadressaten. Im Kfz-Bereich sind damit auch Zulieferer von Transistoren, Sensoren, Motoren, Platinen etc. betroffen.

Es wird die Software untersucht, die im Kfz als Steuerungssoftware implementiert wird.

Unbestritten ist die Sach- und Produktqualität von Software, die in irgendeinem fassbaren Datenträger verkörpert ist (Diskette, CD-ROM, USB-Speicherstick, Festplatte etc.).

Die Rechtsprechung des BGH scheint sogar noch einen Schritt weiterzugehen und die Sacheigenschaft von Software generell bejahen zu wollen, da Software, um überhaupt ablauffähig und nutzbar zu sein, zwangsläufig irgendwo verkörpert werden müsse.¹⁶¹ Daraus folgt, dass jedenfalls fest installierte Software (Embedded Software), die innerhalb des Kfz im Rahmen der technischen Funktion wirkt, als Produkt i. S. d. § 2 ProdHaftG zu qualifizieren ist.¹⁶²

Die Haftung des Herstellers – und im Bereich von Regressansprüchen des Herstellers die Haftung des Zulieferers – für fehlerhafte Software nach dem Produkthaftungsgesetz steht außer Frage.

b) Nach dem (europäischen) Produkthaftungsgesetz ist es dem Hersteller des Endprodukts (gemeint ist der Kfz-Hersteller), auch nicht möglich, die Haftung auf den evtl. den Fehler verursachenden Zulieferer mit Wirkung für den Verbraucher abzuwälzen; der Hersteller haftet demnach gegenüber dem Verbraucher auch dann, wenn er mit dem Zulieferer dessen Haftung vereinbart hat. Die Vereinbarung hat nur im Innenverhältnis (zwischen Hersteller und Zulieferer) Bedeutung.

Durch diese durch das Produkthaftungsgesetz untersagte Verlagerung der Haftung auf Zulieferer ist der Verbraucher im Verletzungsfall von auf diesem Gebiet äußerst schwierig zu erbringenden Kausalitätsnachweisen befreit.

Kernergebnis:

Der geschädigte Verbraucher muss nur nachweisen, dass ein zum Schaden führender Softwarefehler vorlag. Es ist für die Haftung des (End-)Herstellers dann ohne Bedeutung, ob dieser Softwarefehler von seinem eigenen Unternehmen oder dem eines Zulieferers zu vertreten ist.

Anders ist die Situation dann, wenn nicht ein Verbraucher i. S. d. ProdHaftG geschädigt wurde, sondern das Fahrzeug gewerblich genutzt wurde und lediglich Sachschaden entstanden ist.

In diesem Fall verbleibt es in Deutschland wie auch in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union bei der sog. deliktsrechtlichen Haftung (§ 823 BGB).

Der bedeutsame Unterschied gegenüber der Haftung nach dem ProdHaftG besteht darin, dass der (End-)Hersteller die Haftung für zugelierte Teile/Software durch die Übertragung der entsprechenden Verkehrssicherungspflicht mit Wirkung für den Geschädigten auf den/auf die Zulieferer übertragen kann. Der Geschädigte muss nun den Nachweis erbringen, welcher Zulieferer für den Softwarefehler die Verantwortung trägt; wobei für den Zulieferer bzw. Teilehersteller auch immer noch die Entlastung möglich ist, dass der Fehler erst in Verbindung mit anderen (CAD-)Daten, Algorithmen etc. entstanden ist, wofür dann jeweils andere Zulieferer oder wieder der Hersteller verantwortlich sein könnte.

¹⁶¹ BGH, Urt. vom 15.11.2006 – XII ZR 120/04, CR 2007, 75 ff. (hinsichtlich der Sachqualität eines im Rahmen eines Application-Service-Providing-(ASP-)Vertrags geschuldeten Computerprogramms). Der BGH zieht dabei einen Vergleich zum Buch, dessen Sachqualität (und damit die Körperlichkeit) auch nicht dadurch in Frage gestellt werde, dass es nicht wegen seiner körperlichen Hülle, d. h. Einband und Papierseiten („Informationsträger“), sondern wegen des darauf zum Ausdruck kommenden geistigen Inhalts („Information“) erworben werde. Die genannte BGH-Entscheidung erging nicht zum Produkthaftungsrecht, daher lässt sich derzeit nicht abschätzen, ob der BGH tatsächlich so weit gehen würde, die Produkthaftung von Software in eine reine Informationshaftung umzudeuten. Der „Buch“-Vergleich könnte ein Indiz dafür bedeuten.

¹⁶² So auch Meyer/Harland, CR 2007, 689, 693; zuvor bereits angedeutet bei Frenz, ZfS 2003, 381, 385.

4. Das zukünftige Kernproblem bei der Haftung: die Beweisführung

Kernergebnis:

Die Haftpflichtversicherung des Fahrzeugführers bzw. die Gläubiger von Regressansprüchen (der Endhersteller will den Zulieferer fehlerhafter Software in Anspruch nehmen, weil er als Endhersteller gegenüber dem Geschädigten haften musste) tragen die Beweislast für die sog. haftungsbegründende Kausalität.

Bei komplexen Produkten, die regelmäßig von verschiedenen Zulieferern produziert werden, bei denen die Produkte vielfach Software sind oder sich mit Algorithmen verknüpfen, die wiederum nur im Zusammenhang mit anderen Softwarebausteinen funktionieren, wird das fehlerhafte (Teil-)Produkt äußerst schwierig zu finden sein. In der jur. Literatur wird gefolgert, dass dies nahezu unmöglich ist.¹⁶³

Noch problematischer wird der Kausalitätsnachweis bei vernetzten Systemen werden. Schwierig wird es in der Situation werden, bei der einer Steuerungseinheit im Kraftfahrzeug von außerhalb fehlerhafte Daten übermittelt werden, deren Verarbeitung „on board“ zu einer objektiv fehlerhaften Situationsbewertung führt, was dann die Grundlage für einen Schadensfall bildet.

Beispiel: Ein entgegenkommendes Fahrzeug sendet aufgrund eines Systemfehlers, ohne Vorliegen einer entsprechenden Gefahrenlage, Warnmeldungen aus, die vom Empfängerfahrzeug aufgenommen und entsprechend verarbeitet werden, wodurch sich ein Unfall ereignet.

Die Situation kann noch komplizierter werden, wenn Informationen auch durch sog. Road Units an das Empfängerfahrzeug gemeldet werden, wenn mehrere entgegenkommende Fahrzeuge Informationen an ein Empfängerfahrzeug senden oder wenn sogar Signale über das Internet bestimmte Fahrerassistenzsysteme aktivieren.

Kernproblem:

Es lassen sich viele Situationen denken, in denen nicht mehr klar genug ermittelt werden kann, welche Informationen, welche Signale zu welchen Reaktionen und schließlich zum Unfall geführt haben. In der juristischen Literatur wird bereits gefolgert, dass angesichts des Umstandes, dass es sich bei den Fahrerassistenzsystemen um „äußerst komplexe elektronische Systeme“ handelt, der Nachweis einer unfallursächlichen Fehlerhaftigkeit des Systems sich nicht mehr führen lässt.¹⁶⁴

Im Zusammenhang mit dem hochautomatisierten Fahren könnten deshalb produkthaftungsrechtliche Schutzlücken entstehen.

5. Neue Haftungssysteme – nationale, europäische und internationale Diskussion

In der juristischen Literatur wurde bereits vorgeschlagen, dass all diejenigen Unternehmen, die am hochautomatisierten Fahren beteiligt sind, Risikogemeinschaften gründen sollten oder alternativ, dass insofern Verantwortungsbereiche – so weit wie möglich – zwischen den Unternehmen vereinbart werden sollten, für die dann jeder, unabhängig von der Möglichkeit, dass auch ein Dritter noch verantwortlich sein könnte, die Verantwortung zu tragen hat. Aus Produktionsgemeinschaften, aus Herstellern und Zulieferern würden dann auch Risikogemeinschaften werden.

Auch bei nicht vernetzten Systemen muss es im Interesse der Hersteller, die zumindest nach dem Produkthaftungsgesetz die Haftung nicht auf Zulieferer mit Außenwirkung übertragen können, liegen, solche Risikogemeinschaften innerhalb von Qualitätssicherungsvereinbarungen mit ihren Zulieferern zu schließen.

Auf der Grundlage der heutigen Rechtsprechung dürften allerdings solche Vereinbarungen im Rahmen von allgemeinen Geschäftsbedingungen (um solche handelt es sich bei den Vereinbarungen in den Qualitätssicherungsvereinbarungen) unwirksam sein. Die Rechtsprechung verlangt bislang den Nachweis für die haftungsbegründende Kausalität.

Schon in früheren Zeiten in Qualitätssicherungsvereinbarungen im anderen Zusammenhang aufgenommene Vermutungen zur Haftungsbegründung wurden regelmäßig für unwirksam erklärt.

Es ist aber davon auszugehen, dass entsprechende Vereinbarungen in Qualitätssicherungsvereinbarungen dann künftig von der Rechtsprechung anerkannt werden (müssen), wenn Kausalitätsanforderungen nicht mehr erfüllt werden können; solche Vereinbarungen unterliegen also einer Ultima-ratio-Überprüfung.

Definitionen für die beiden neuen Haftungssysteme

a) Bei der Marktanteilshaftung wird bei einer Mehrheit potenzieller Schadensverursacher auf den – vollen – Ursächlichkeitsnachweis verzichtet und auf der Grundlage von Marktanteilen Haftung zugewiesen.¹⁶⁵

Mit der Festlegung von Verantwortungsbereichen (Schnittpunkten) in Qualitätssicherungsvereinbarungen ist gemeint, dass mögliche Schäden bestimmten Herstellern bzw. Teileherstellern aufgrund vertraglicher Vereinbarung zum Schadensausgleich zugeordnet werden und die jeweiligen Verantwortungsbereiche oder „Schnittpunkte“ zumindest so ausgewählt sind, dass sie realitätsnah erscheinen.

b) Die EU-Kommission (DG MOVE) hat eine Studie zu Haftungsfragen bei Umsetzung von IVS-Anwendungen erstellt (intelligente Verkehrssysteme im Straßenverkehr, s. die Richtlinie 2010/40/EU vom 07.07.2010 „zum Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im Straßenverkehr und für deren Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern“). Dort werden Maßnahmen für den Umgang mit Haftungsfragen besprochen.

Allerdings wird dort die Steuerungsmöglichkeit von vertragsrechtlichen Möglichkeiten, insbesondere auf der Grundlage allgemeiner Geschäftsbedingungen, überschätzt. Die vorläufige Empfehlung der Kommission geht dahin, „Haftungsbegrenzung auf eigene Verantwortungsbereiche“ durch vertragliche Vereinbarungen vorzunehmen.

Außerhalb vertraglicher Haftungsvereinbarungen ist die Denkweise der Kommission an traditionellen Haftungssystemen orientiert. In ihrem „Aktionsplan zur Einführung intelligenter Verkehrssysteme“¹⁶⁶ mit dem Ziel, den Güter- und Personenverkehr in Europa umweltverträglicher, energieeffizienter und sicherer zu gestalten, geht sie davon aus, dass hochautomatisiertes Fahren nur unter der Voraussetzung zulässig sein sollte, dass mit den bestehenden Haftungssystemen, insbesondere mit dem Produkthaftungsgesetz, auch Haftungsfragen zufriedenstellend gelöst werden können. Diese Ansicht wird in der Richtlinie (RI) 2010/40/EU vom 07.07.2010 (zum Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im Straßenverkehr) wiederholt (dort Art. 11).

Dies ist zu kritisieren, weil das Produkthaftungsgesetz nicht hinreichend die Probleme löst und alternative Möglichkeiten wie beschrieben bestehen.

Die Studie belegt zudem die unklare rechtliche Situation für kooperative Systeme, d. h. für Systeme, bei denen insbesondere Daten unterschiedlicher Herkunft zusammengeführt werden und Steuerungsmechanismen aktivieren.

In verschiedenen Stellungnahmen der Organe der EU wird aber die Behandlung eines Rechtsrahmens für die Haftung im Zusammenhang mit der Anwendung von IVS gefordert und vermutet, dass der bisherige Rechtsrahmen nicht ausreicht.¹⁶⁷

In den Vereinigten Staaten gibt es bereits Rechtsprechung, die die Haftung zwischen den Beteiligten auf der Grundlage einer Risikogemeinschaft regelt, Haftungsanteile werden dann nach Anteilen an der Wertschöpfung zugewiesen (die Entscheidungen betrafen das Unternehmen GM).

Es liegt auch eine Studie der BASt zur zunehmenden Fahrzeugautomatisierung vor (aus dem Jahr 2012). Auch dort bleibt die konkrete rechtliche Bewertung (Produkt- und Straßenverkehrsrecht) allgemein gehalten; auf die hier beschriebenen Probleme wird nur aufmerksam gemacht.

¹⁶³ Dazu Gasser et al. (2012), VKU 2009, 224, 227.

¹⁶⁴ Dazu Gasser et al. (2012), VKU 2009, 224, 227; mit weiterem Verweis auf Albrecht, DAR 2005, 186 ff.

¹⁶⁵ Vgl. zu Kausalitätsproblemen im Allgemeinen und zur Marktanteilshaftung im Besonderen rechtsvergleichend Spindler, AcP 208, 2008, 283, 313 ff.

¹⁶⁶ Vorrangige Aktionsbereiche sind u. a.: Sicherheit und Gefahrenabwehr im Straßenverkehr, Verbindung von Fahrzeug und Infrastruktur, Datenschutz, Datensicherheit und Haftungsfragen (Mitteilung der Kommission, KOM (2009) 886 endg./2).

¹⁶⁷ Dazu Gelau/Gasser/Seeck, in: Winner et al. (2009), S. 28 und passim.

Kapitel 6

6. Informationen in vernetzten Systemen – Haftungsfragen

Vernetzte Systeme werden aktuell im Zusammenhang mit Informationen diskutiert und erprobt. Dabei geht es vielfach um Informationen C2C.

Es ist zu klären, welche Bedeutung haftungsrechtlich Informationen haben und wer die Verantwortung für Informationen trägt, die im Rahmen von Vernetzungssystemen durch andere (regelmäßig entgegenkommende) Fahrzeuge oder durch sogen. Road Units gegeben werden.

Rechtliche Bedeutung von Informationen:

Kernergebnis:

Noch nicht abschließend geklärt ist die Frage, ob online, also trägerlos mittels Datenfernübertragung übermittelte Software als Produkt i. S. d. Vorschrift anzusehen ist, ob also für fehlerhafte Informationen nach dem Produkthaftungsrecht gehaftet wird.

Den Ausgangspunkt bildet die Überlegung, wonach „Informationen als solche“ nicht als Produkt aufgefasst werden, was in gleichem Maße für entsprechende Daten gelten muss.

Die Besonderheit liegt vorwiegend in dem Umstand begründet, dass die Daten vor allem dazu bestimmt sind, über eine Verarbeitung im Fahrzeug als Grundlage für Informationen zu dienen, die das System dem Fahrer zur dessen Unterstützung bei der primären Fahraufgabe zur Verfügung stellt. Daraus wird man wohl jedoch noch nicht schließen dürfen, die Daten repräsentierten „vorab“ das materialisierte Produkt „Systemsteuerung“, in das sie Eingang finden, und müssen deshalb selbst als Produkt qualifiziert werden.

Auch unter Berücksichtigung der in der deutschen Rechtsprechung erkennbaren Tendenz zur erweiterten Auslegung von Software als Produkt im Rahmen des § 2 ProdHaftG wird man entsprechend der Ziel- und Zwecksetzung der Produkthaftung argumentieren können, dass jedenfalls

- ausnahmslos drahtlos „von außen“ in das Kfz übermittelte Daten, die
- (nach ihrer Verarbeitung) in der Mitteilung von Informationen an den Fahrer aufgehen, die
- nicht auf eine unmittelbare Auswirkung auf das Fahrverhalten des Fahrzeugs selbst, sondern auf eine Umsetzung durch den Fahrer selbst ausgelegt ist (mithin nicht als funktionales Informationsgut i. S. d. obigen Definition anzusehen sind),

nicht als Produkt i. S. d. ProdHaftG zu qualifizieren sind – mit der Folge, dass insoweit eine Produkthaftung nach ProdHaftG nicht in Betracht kommt.

Diese bislang herrschende Meinung ist aber anzuzweifeln. Soweit die vermittelten Daten nicht vom Menschen, sondern von Maschinen bzw. elektronischen Systemen generiert und transportiert werden, ist der produkthaftungsrechtlich freie Raum des Informationsaustausches verlassen. Soweit der Fahrer keine „besseren“ Informationen hat, wird er dem vermeintlich sicheren, weil straßenverkehrsrechtlich zugelassenen, Informationssystem vertrauen und die Warnhinweise beachten bzw. sein Fahrverhalten darauf einrichten. Insoweit können Informationen schon Produktqualität im Sinne des Haftungsrechts erhalten.

Kernergebnis:

Unabhängig von der Einordnung der Informationsdaten als Produkt müssen die Warnhinweise in einer für den Fahrer verständlichen und darüber hinaus vielen Anforderungen entsprechenden Art und Weise gegeben werden.

Hinweise gibt die Norm DIN EN 894-1 (1997) „Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen“. Es sind danach sechs ergonomische Leitsätze bzw. Anforderungen bei der Gestaltung von Schnittstellen (Anzeigen und Stellteilen) zu beachten. Die Beachtung wird als Basis für eine erfolgreiche Gestaltung von FAS von fachwissenschaftlicher Seite¹⁶⁸ empfohlen. Diese Grundsätze lauten:

- *Aufgabenangemessenheit*
- *Selbsterklärungsfähigkeit*
- *Steuerbarkeit*
- *Erwartungskonformität*
- *Fehlerrobustheit*
- *Anpassung und Erlernbarkeit*

Hinsichtlich der Interaktion des Systems mit anderen Systemen im Kfz gilt: Das System muss so funktionieren, dass andere Anzeigen oder Bedienteile jederzeit funktionsfähig und für den Fahrer bedienbar bleiben. Der Fahrer muss zu jedem Zeitpunkt den Status des Systems (ein/aus) sowie mögliche sicherheitsrelevante Systemstörungen erkennen können.

Es gibt auch zahlreiche Normen, die technische Hilfen für die „Aufmerksamkeit“ bieten:

- ISO 4040 (2001): Road vehicles – Location of hand controls, indicators and tell-tales
- ISO 15006 (2004): Road vehicles – Ergonomic aspects of transport information and control systems – Specifications and compliance procedures for in-vehicle auditory presentation
- ISO FDIS 16673 zur Verdeckung bzw. Überlagerung bei der visuellen Intensität der Schnittstelle

7. Haftung des Staates als Infrastrukturbetreiber? Europarechtliche Vorschriften

Auf verfassungsrechtlicher Ebene angesiedelt, stellt sich das

Kernergebnis:

Die durch das automatisierte Fahren vorgeprägte Verkehrsinfrastruktur wirft schließlich die über das zivile Haftungsrecht hinausreichende Frage auf, ob und inwieweit der Staat in Verkehrsschadensfällen als Haftungsschuldner nach den Grundsätzen über die Amts- bzw. Staatshaftung in Betracht kommt.

– im juristischen Schrifttum bisher noch nicht ausreichend behandelt¹⁶⁹ – Problem, ob und inwieweit aus der grundgesetzlich geforderten Infrastrukturgewährleistung¹⁷⁰ des Staates, die nicht (notwendigerweise) die staatliche Leistungsbereitstellung und Aufgabenerfüllung im Infrastrukturbereich bedeutet, staats- und amtshaftungsrechtliche Folgen auch dann herzuleiten sind, wenn die Infrastruktureinrichtungen von privater Hand betrieben werden.

Für elektronische und softwaretechnische Einrichtungen innerhalb der Fahrzeuge kommt der Staat seinen Pflichten durch die Überwachung der Einhaltung zulassungsrechtlicher Vorschriften nach.

Anders wird es sich im Bereich der Informationssysteme verhalten.

Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Richtlinie (RI) für die koordinierte europaweite Einführung von intelligenten Verkehrssystemen.

- Richtlinie 2010/40/EU vom 07.07.2010; zum Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im Straßenverkehr und für die Schnittstellen zu anderen Verkehrsteilnehmern
- Im Zuge der Einführung von IVS kommt den Mitgliedstaaten die Aufgabe zu, die erforderlichen Maßnahmen zur Gewährleistung der koordinierten Einführung und Nutzung interoperabler IVS-Anwendungen und -Dienste in der Gemeinschaft zu treffen, dazu gehören insbesondere:
 - das Bereithalten von Maßnahmen zur Integration sicherheitsrelevanter IVS-Anwendungen in Fahrzeugen und Straßeninfrastrukturen einschl. der Entwicklung sicherer Mensch-Maschine-Schnittstellen
 - das Bereithalten von Maßnahmen zur Integration unterschiedlicher IVS-Anwendungen innerhalb einer einheitlichen Plattform
 - die Sicherstellung und Bereitstellung zuverlässiger Straßenverkehrsdaten für IVS-Nutzer und Diensteanbieter.

Inhaltliche Aspekte zur Amtshaftung des Staates sind nicht enthalten.

¹⁶⁸ Vgl. Bruder/Didier, in: Winner et al. (2009): S. 318 (sub 21.3.1).

¹⁶⁹ Ansätze finden sich bei Bewersdorf, C. (2005), S. 184 ff.

¹⁷⁰ Bisher wird bei der Infrastrukturgewährleistung schwerpunktmäßig diskutiert, inwieweit sich der Staat ehemals selbst übernommener Aufgaben durch (zumindest teilweise) Übertragung an Dritte (private Dritte oder Public-Private-Partnership-Modelle) entledigen darf bzw. welchen Mindestbereich an Aufgaben und Diensten im Infrastrukturbereich der Staat eigenverantwortlich anbieten muss.

Die Maßnahmen stehen aber in unmittelbarem Zusammenhang mit staatlichen Pflichtenbereichen, so dass ein Pflichtenbereich des Staates, ihn treffende Verkehrssicherungspflichten, unabweisbar sind.

Als technische Grundlage für die oben genannten Maßnahmen sollen satellitengestützte Infrastrukturen oder ähnlich präzise Technologien genutzt werden. Auch hierbei sind Haftungsfragen weitgehend ungeklärt.

8. Komplexe Haftungssituation bei satellitennavigationsbasierten Produkten und Dienstleistungen am Beispiel „Galileo“

Die (produkt-)haftungsrechtliche Beurteilung der für das automatische Fahren notwendigen Funktion wird schließlich dadurch erschwert, dass für das Vorhaben eine Vielzahl unterschiedlicher LuK-Technologien als Funktionsgrundlage erwogen wird, an denen wiederum eine Vielzahl von Akteuren – auf unterschiedlicher Stufe der Wertschöpfungskette – beteiligt sein können. Das hierdurch potenziell entstehende Haftungsgeflecht lässt sich derzeit kaum abschätzen bzw. einordnen.

Zum europäischen Satellitennavigationssystem „Galileo“ liegt im neuesten juristischen Schrifttum eine erste Einschätzung vor.¹⁷¹ Für Gerätehersteller und Dienstbetreiber werden insoweit zwei wesentliche Hauptbereiche für Haftungsrisiken ausgemacht: Haftung für Schäden aus ihrer allgemeinen Leistungserbringung sowie Haftung für Schäden, die durch Fehler des Satellitennavigationssignals („Signal in Space“) verursacht werden. Während der erstgenannte Bereich keine Besonderheiten bei der vertraglichen und außervertraglichen Haftung aufweist, sind die Haftungsprobleme für fehlerhafte „Signal in Space“ bisher nicht einmal ansatzweise geklärt.

9. Orientierungsmöglichkeiten für die Unternehmen – europarechtliche Vorgaben

Kernergebnis:

In ihrer Empfehlung 2008/653/EG vom 26.05.2008 empfiehlt die Kommission den Unternehmen, die bordeigene LuK-Systeme entwerfen, bereitstellen und einrichten, die Beachtung der als Anhang zur genannten Empfehlung abgedruckten Neufassung des Grundsatzkatalogs von 2006 „ESoP“ (European Statements of Principles on HMI). Hersteller von IVS-Anwendungen sind gut beraten, diese Empfehlung bei der Produktentwicklung neben den geltenden Rechtsvorschriften und anerkannten technischen Normen zumindest in die Konstruktionsplanungen mit einzubeziehen.

Weitere europäische Rechtsentwicklungen:

Verordnung (EG) 631/2009 der Kommission vom 22.07.2009 (Abl. L 195 vom 25.07.2009): Spezifikationen für Bremsysteme, Überprüfung von Bremsassistenzsystemen.

Verordnung (EG) 661/2009 der Kommission vom 31.07.2009: Fahrzeughersteller haben sicherzustellen, dass Fahrzeuge, Systeme und Bauteile und selbständige technische Einheiten den einschlägigen Vorschriften dieser VO und ihrer Durchführungsvorschriften entsprechen, einschließlich der Vorschriften über:

- Systeme zur Unterstützung der Kontrolle des Fahrers über das Fahrzeug, einschließlich Systemen für Lenkung und Bremsen sowie elektronischer Fahrdynamik-Regelsysteme
- Systeme, die den Fahrer über den Zustand des Fahrzeugs informieren, einschließlich des Zustands der FAS

In der VO gibt es Definitionen von Notbremsassistenten, also von deren Funktion und Wirkweisen, und von Spurhaltesystemen.

6.4 DATENSCHUTZRECHTLICHE ANFORDERUNGEN

Der Aktionsplan der europäischen Kommission zur Einführung intelligenter Verkehrssysteme (IVS) in Europa¹⁷² hat als eine weitere Anforderung an die Markteinführung von IVS-Diensten die Beachtung der Belange des Datenschutzes formuliert.

1. Allgemeine Voraussetzungen für eine zulässige Verwendung von Daten – Verbot mit Erlaubnisvorbehalt

Kernergebnis:

Soweit für das automatisierte Fahren die Verwendung personenbezogener Daten unumgänglich sein sollte, legt § 4 Abs. 1 BDSG die Anforderungen für die rechtliche Zulässigkeit fest. Die Erhebung, Verarbeitung und Nutzung personenbezogener Daten ist danach grundsätzlich verboten, wenn sie nicht aufgrund eines Gesetzes bzw. aufgrund der Einwilligung des Betroffenen zulässig ist (sog. Verbot mit Erlaubnisvorbehalt).

Soweit keine Zulässigkeitstatbestände aus den bereichsspezifischen Datenschutzregelungen des TKG bzw. TMG erfüllt sind (dies ist zu untersuchen), kann die Verwendung personenbezogener Daten durch nichtöffentliche Stellen nur durch die gesetzlichen Ausnahmetatbestände in § 28 Abs. 1 BDSG gerechtfertigt werden.

2. Zulässigkeit nach BDSG

Zulässigkeit im Zusammenhang mit Vertragsleistungen. Die Vereinbarung könnte sich darauf beziehen, Softwarebereiche regelmäßig zu überprüfen, zu warten und auf den neuesten Stand zu bringen.

Wenn die Verwendung der personenbezogenen Daten für die Funktionen unumgänglich ist und für die Erbringung der vertraglich geschuldeten Dienstleistungen zwingend erforderlich wäre, so könnte das BDSG in § 28 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1 BDSG eine Ausnahmegesetzvorschrift beinhalten. Diese Norm gestattet die Erhebung und Verarbeitung personenbezogener Daten ohne das Einver-

ständnis der Betroffenen, wenn dies der Zweckbestimmung eines Vertragsverhältnisses mit dem Betroffenen dient. Neben den Vertragsdaten können darunter also weitere personenbezogene Daten fallen, die für die Erbringung der vertraglich geschuldeten Dienstleistung erforderlich sind. Das wären in diesem Falle die personenbezogenen Daten. Es wäre für den zulässigen Datenumgang jedoch notwendig, dass ein unmittelbarer sachlicher Zusammenhang zwischen der beabsichtigten Datenverwendung und der jeweiligen Dienstleistung besteht; die Verwendung der personenbezogenen Daten muss zur Abwicklung des Vertrages/der DI erforderlich sein.¹⁷³ Der konkrete Vertragszweck muss sich zudem direkt aus dem Vertragstext oder aus dem Vertragsinhalt ergeben; die Parteien müssen ihn zumindest durch übereinstimmende Erklärungen dem Vertrag zugrunde gelegt haben.¹⁷⁴ Um den Voraussetzungen des gesetzlichen Ausnahmetatbestandes zu genügen, müsste also eine entsprechend umfangreiche Darstellung der Funktion im Vertragstext erfolgen. Es ist fraglich, ob dies praktikabel ist.

3. Einwilligung/zulassungsfreie Verwendung

Die Erhebung und weitere Verarbeitung personenbezogener Daten ist grundsätzlich aufgrund einer Einwilligung der Betroffenen zulässig.¹⁷⁵

Auch wenn personenbezogene Daten aus technischen Gründen zunächst erhoben werden müssen, kann durch eine spätere Anonymisierung dieser Daten eine weitere zulassungsfreie Verwendung erreicht werden, da das BDSG auf derart verarbeitete Daten keine Anwendung mehr findet.¹⁷⁶

Gemäß § 3 Abs. 6 BDSG wird unter Anonymisieren das Verändern personenbezogener Daten verstanden, bei denen die Einzelangaben über persönliche oder sachliche Verhältnisse nicht mehr oder nur mit einem unverhältnismäßig großen Aufwand an Zeit, Kosten und Arbeitskraft einer bestimmten oder bestimmbar natürlichen Person zugeordnet werden können. Nicht mehr zugeordnet werden können die Einzelangaben gemäß der ersten Variante, wenn die Identifizierungsmerkmale zu den zugehörigen Einzelangaben unwiederbringlich gelöscht werden und die Erhebung der Daten nicht rekonstruiert werden kann.¹⁷⁷

¹⁷¹ Giemulla/Heinrich, ZLW 2008, 25 ff. (auch zum Folgenden).

¹⁷² Mitteilung der Kommission vom 16.12.2008, KOM(2008) 886 endg, S. 13.

¹⁷³ Bergmann/Möhrle/Herb, Datenschutzrecht, Stand. Jan. 2009, BDSG § 28 Rn. 18; Simitis in: Simitis (Hrsg.), Kommentar zum BDSG, 6. Aufl. 2006, § 28 Rn. 79.

¹⁷⁴ Simitis in: Simitis (Hrsg.), Kommentar zum BDSG, 6. Aufl. 2006, § 28 Rn. 79.

¹⁷⁵ So der Bundesbeauftragte für den Datenschutz und die Informationsfreiheit, Peter Schaar, in seinem Vortrag anlässlich des EAID-Workshops

„Der gläserne Autofahrer“ am 27.03.2006 in Berlin.

¹⁷⁶ Kühling et al. (2008), S. 105.

¹⁷⁷ Gi177 Kühling et al. (2008), S. 104 f.

Kernergebnis:

Ist eine solche absolute Anonymisierung nicht umsetzbar, kann durch eine dauerhafte organisatorische Trennung der benötigten technischen Einzeldaten von den Identifizierungsmerkmalen zumindest eine faktische Anonymisierung im Sinne der zweiten Variante des § 3 Abs. 6 BDSG erreicht werden. Dazu ist erforderlich, dass entweder einer der beiden Datensätze oder der Codeschlüssel bei der vorherigen Verschlüsselung der Daten an eine andere Stelle ausgelagert wird.¹⁷⁸ Diesen Weg gehen Versicherer, die die Standortdaten der Fahrzeuge der Versicherten im Zusammenhang mit dem Prämienmodell („Pay as you drive“) verschlüsselt an externe EDV-Kooperationspartner übermitteln und von diesen auswerten lassen.¹⁷⁹

Infobox:

Pay-as-you-drive-Tarife

Zur Erfassung der Fahrleistung bzw. des Fahrverhaltens bedarf es einer vom Kunden freiwillig installierten Datenbox, die relevante Informationen kontinuierlich aufnimmt und automatisiert an den Versicherer sendet.

Bei rücksichtsvollem Fahrverhalten des Versicherten sind Rabattierungen von 20 bis 30 % bei gleichem Fahraufkommen möglich.

Einige Versicherer bieten solche Produkte bereits an bzw. planen die Markteinführung solcher Produkte zeitnah.

Perspektivisch lassen sich auch Versicherungsprämien in Abhängigkeit von den tatsächlichen Fahrleistungen („Pay as you drive“) vorstellen.¹⁸⁰

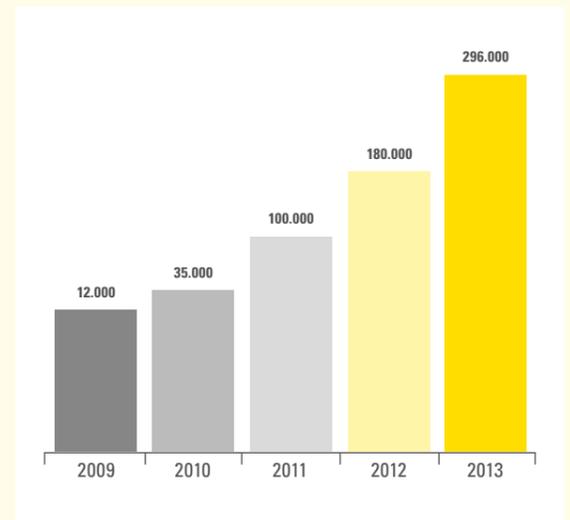


Abbildung 67: Anzahl der fahrverhaltensbasierten Versicherungsverträge in Großbritannien. (Quelle: Telefonica (2014))

4. Zulässigkeit nach Telekommunikationsgesetz (TKG)

Die Funktionen des automatisierten Fahrens basieren darauf, dass Daten über ein Telekommunikationsnetz übertragen werden. Die Datenübertragung mittels Signalen über ein Telekommunikationsnetz stellt einen Telekommunikationsdienst im Sinne von § 3 Nr. 24 TKG dar. Die mit der Datenübertragung verbundene Datenverarbeitung fällt also in den Anwendungsbereich des TKG. Auf das automatisierte Fahren sind also auch die Vorschriften zum Datenschutz in den §§ 91–107 TKG anzuwenden. Diese Normen konkretisieren die Regelungen für die Verwendung der im Zusammenhang mit dem Betrieb eines Telekommunikationsdienstes zu erhebenden Daten. Im Hinblick auf die Zulässigkeit der Nutzung der hier zu prüfenden Vertragsdaten ergibt sich daraus jedoch keine relevante Erweiterung gegenüber dem § 28 Abs. 1 Nr. 1 BDSG. § 95 TKG legt lediglich fest, dass die „Bestandsdaten“ eines Teilnehmers (d. h. die Daten, die für die Begründung, inhaltliche Ausgestaltung, Änderung oder Beendigung des Vertragsverhältnisses über Telekommunikationsdienste erhoben wurden (vgl. § 3 Nr. 3 TKG)) nur für die ordnungsgemäße Übertragung der Signale im Rahmen des Telekommunikationsdienstes verwendet werden dürfen.

5. Zulässigkeit nach Telemediengesetz (TMG)

Der Betrieb von Fahrerassistenzsystemen erfüllt darüber hinaus u. U. die Anwendungsvoraussetzungen des TMG. Gemäß § 14 Abs. 1 TMG darf der Betreiber als Diensteanbieter die Bestandsdaten eines Nutzers nur erheben und verwenden, soweit sie für die Begründung, inhaltliche Ausgestaltung oder Änderung eines Vertragsverhältnisses zwischen dem Diensteanbieter und dem Nutzer über die Nutzung von Telemedien erforderlich sind. Insoweit hält das TMG keine von den bereits dargelegten Regelungen des BDSG und TKG abweichende Befugnis vor.



¹⁷⁸ Kühling et al. (2008), S. 105.
¹⁷⁹ Uwe Schmidt-Kasperek, Autoversicherung. Angst vor dem Big Bang?, VW 2006, 1903.
¹⁸⁰ Vgl. car-it.com (2013a).

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Studie „Automatisiert. Vernetzt. Elektrisch. Automatisiertes und vernetztes Fahren aus der Perspektive Baden-Württemberg“ wurden bestehende, in Studien, Forschungsberichten und Presseberichten dokumentierte Informationen analysiert und ergänzend zur eigenen Expertise im Hinblick auf die Entwicklungen des automatisierten und vernetzten Fahrens ausgewertet. Dabei wurden – unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Interviews mit lokalen Fachexperten – auch die Potenziale, die sich für den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Baden-Württemberg ergeben, herausgearbeitet.

Die zentralen Ergebnisse und Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Technologische Perspektive

Der Reifegrad der für das vernetzte und automatisierte Fahren notwendigen Technologien ist unterschiedlich stark ausgeprägt, ermöglicht aber bereits heute vielfältige Anwendungen, z. B. auf Autobahnen oder im niedrigen Geschwindigkeitsbereich. Insbesondere bei der Sensorik ist bereits ein hoher technologischer Stand erreicht.

Herausforderungen gibt es u. a. noch bei der Interpretation der Daten, z. B. zur Prognose des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer. Auch Sicherheitsaspekte – sowohl hinsichtlich der Daten als auch im Hinblick auf die funktionale Sicherheit – müssen betrachtet werden.

Für die notwendige spurgenaue Lokalisierung reicht eine Satellitenortung nicht aus. Lokale Korrektursysteme, die Vernetzung der Fahrzeuge mit der Infrastruktur sowie hochgenaue, aktuelle digitale Karten können unterstützend wirken. Außerdem ist erkennbar, dass nicht eine einzelne, sondern die Kombination von verschiedenen Kommunikationstechnologien zielführend sein wird, um einen hohen Grad an Verfügbarkeit zu ermöglichen.

Vernetztes und automatisiertes Fahren benötigen Technologien mit hoher Komplexität. Dies sowie die Einbindung in Systemzusammenhänge erfordern die Zusammenarbeit unterschiedlicher wissenschaftlicher und technischer Disziplinen und intensive Tests in ausgewiesenen Testgebieten und im realen Verkehr.

Systemperspektive

Vernetzung und Automatisierung von Fahrzeugen sind grundsätzlich zwei voneinander unabhängige Technologiebereiche. Ihre Verbindung und zukünftig weiter zunehmende Integration führen jedoch zu neuartigen, hochwertigen und robusten Lösungen, die das Verkehrssystem grundlegend beeinflussen.

Verkehrseffizienz und Verkehrssicherheit werden durch verbesserte Information, kollektive und individuelle Verkehrsbeeinflussung sowie homogenere Fahrzeugbewegungen befördert. Umweltschonende Mobilität und neue Mobilitätsformen profitieren ebenso von den Technologien.

Der Mischverkehr und die Interaktion von automatisiert fahrenden Fahrzeugen mit nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmern stellen eine besondere Herausforderung dar. Um die positiven Auswirkungen der Automatisierung nicht zu gefährden, ist es wichtig, dass das Verhalten der automatisiert fahrenden Fahrzeuge für die Menschen erkennbar und möglichst vorhersehbar ist.

Die Anwendungen des vernetzten automatisierten Fahrens einerseits und des elektrischen Fahrens andererseits können unabhängig voneinander genutzt und weiterentwickelt werden. Synergien ergeben sich jedoch aus technologischen und anderen positiven Wirkzusammenhängen.

Ökonomische Perspektive

Der Schritt vom Testfeld auf die Straße steht unmittelbar bevor. Mehrere konkrete Produktankündigungen für das Jahr 2017 zeigen auf, dass automatisiertes Fahren Realität wird. Die Anbieter werden anfänglich sehr vorsichtig Anwendungen einführen – zunächst unter gut beherrschbaren Rahmenbedingungen, wie sie auf Autobahnen oder autobahnähnlichen Straßen gegeben sind.

Die antizipierten ökonomischen Potenziale sind immens. Technologische und organisatorische Herausforderungen auf dem Weg zum vernetzten und autonomen Fahren können – ähnlich wie in der Elektromobilität – nur gemeinsam von den Akteuren der Automobilindustrie sowie der IKT-Branche gelöst werden. Wem dabei welche Rolle zukommt, ist heute noch nicht vollständig absehbar.

Gegenwärtig wird in verschiedensten Konstellationen die Erbringung von Wertschöpfung des automatisierten bzw. vernetzten Fahrens „erprobt“.

Gesellschaftliche Trends wie „zunehmende ökologische Einstellung“ oder „steigende Akzeptanz von Multimodalität“ bremsen nicht die Nachfrage nach Mobilität an sich, sondern verschieben die Nachfrage eher zugunsten anderer Verkehrsträger bzw. anderer Arten der Organisation und Abwicklung von Verkehren. Damit einhergehend wird auch eine Wandlung des Mobilitätsmarktes zu einem Dienstleistungsmarkt antizipiert.

Juristische Perspektive

Ende März 2014 hat die UN das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr überarbeitet. Nun sind Systeme, die die Führung eines Fahrzeugs beeinflussen, zulässig, wenn sie jederzeit vom Fahrer überstimmt oder abgeschaltet werden können. Die Änderung schafft nach ihrer Ratifizierung durch die Mitgliedstaaten somit den regulatorischen Rahmen für aktuelle Fahrerassistenzsysteme (wie z. B. den Abstandsregeltempomat), die bereits heute Fahraufgaben übernehmen. Nach dieser Regelung im Wiener Übereinkommen ist auch hochautomatisiertes Fahren erlaubt, soweit der Fahrer jederzeit seine Entscheidung umsetzen kann, selbst zu fahren.

Zulassungsrechtlich verlagert sich die Anforderung nach Eingriffsmöglichkeiten des Fahrers auf die Sicherheit des seinen Eingriff ersetzenden Systems.

Technische Leitsysteme, die die Fahrzeugsteuerung durch den Fahrer ersetzen, sind für Fahrsituationen erlaubt, die der Fahrer übersehen kann. Sie sind aber auch für Fahrsituationen erlaubt, die der Fahrer nicht mehr bewältigen kann. Voraussetzung ist in jedem Fall ein bei der technischen Einrichtung vorhandenes Sicherheitsniveau, das sicherheitsrelevante Fehler auf statistisch zu vernachlässigende Ausreißer eingrenzt.

Im Zusammenhang mit dem hochautomatisierten Fahren könnten produkthaftungsrechtliche Schutzlücken entstehen. Aufgrund des Zusammenwirkens vieler elektronischer Systeme und der großen aus verschiedenen Quellen stammenden Datenflut wird es nicht

mehr möglich sein, die bisher von der Rechtsprechung verlangten Anforderungen an Kausalitätsnachweise zu erfüllen.

Dies impliziert die Notwendigkeit neuer Haftungssysteme, z. B. durch die Begründung von Risikogemeinschaften. Es ist aber davon auszugehen, dass entsprechende Regelungen in Qualitätssicherungsvereinbarungen auch dann künftig von der Rechtsprechung anerkannt werden (müssen), wenn Kausalitätsanforderungen nicht mehr erfüllt werden können. Solche Vereinbarungen unterliegen dann einer Ultima-ratio-Überprüfung.

Baden-württembergische Perspektive

Die am Standort Baden-Württemberg beheimateten Unternehmen und Forschungseinrichtungen prägen heute die technologische Entwicklung im Bereich des vernetzten und automatisierten Fahrens maßgeblich.

Die baden-württembergische Akteurslandschaft im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens auf Seiten der Unternehmen wird im Wesentlichen durch OEM und die Tier-1-Zulieferer aus dem Automobilbau und deren Aktivitäten geprägt. Diese Unternehmen können in Teilen auf recht lange Entwicklungsaktivitäten zurückschauen, die sich auch in gefestigten, bilateralen Kooperationsbeziehungen mit heimischen Forschungseinrichtungen und Hochschulen niederschlagen.

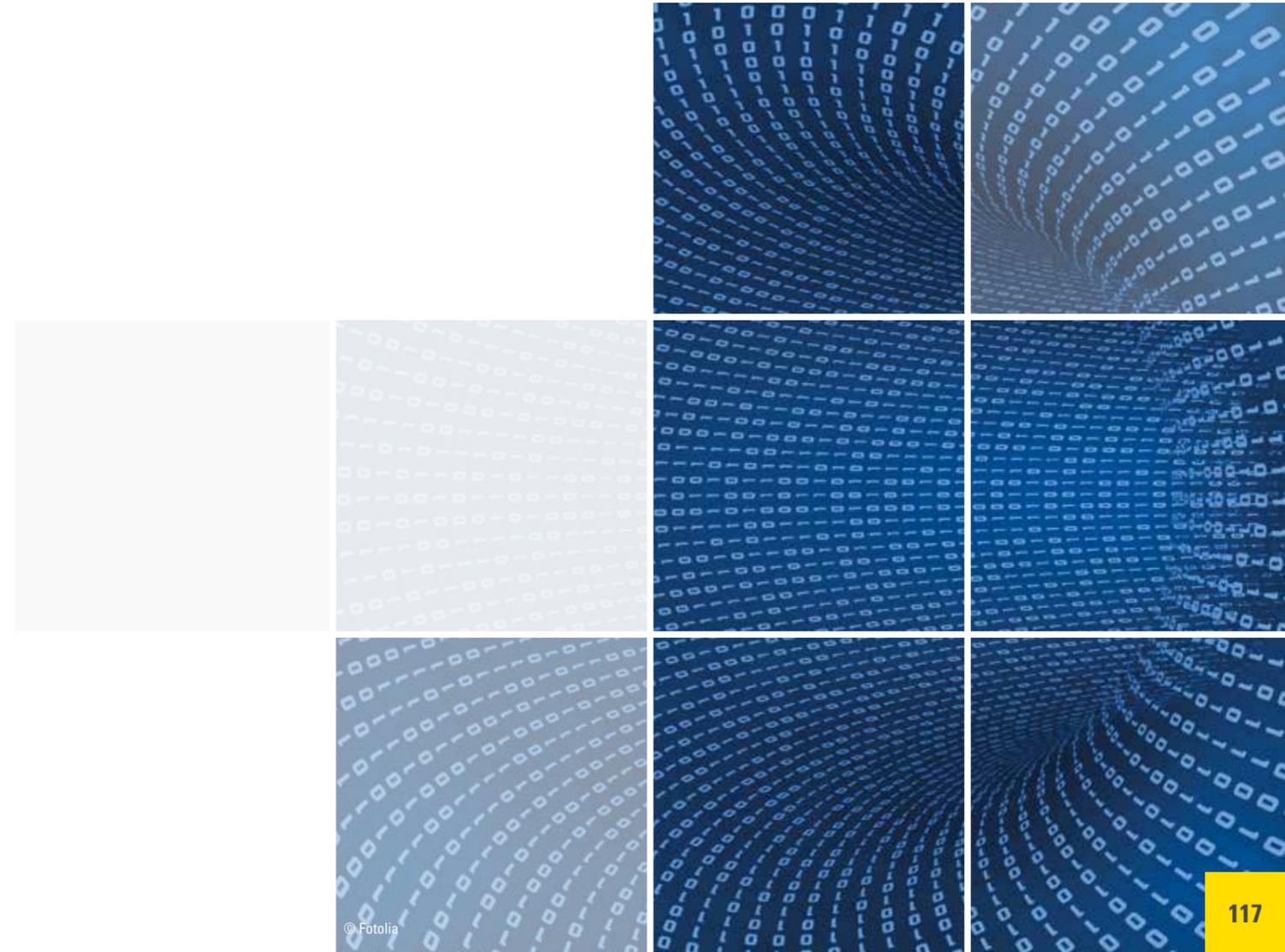
Ergänzt wird diese Akteurslandschaft durch eine Reihe von KMU, die Know-how insbesondere im Bereich spezifischer Technologien (z. B. Sensorik, Aktorik) sowie in der Integration von Systemen in den Entwicklungsprozess von automatisiert fahrenden Fahrzeugen einbringen. Dieses Know-how wurde teilweise in anderen Anwendungsfeldern aufgebaut oder wird erfolgreich in Anwendungsfelder jenseits des automatisierten Fahrens im Pkw – z. B. in der Landwirtschaft – überführt.

Vervollständigt wird die Akteurslandschaft durch eine Reihe von Forschungseinrichtungen und Hochschulen im technisch-konstruktiven Bereich, die über ausgeprägtes Know-how im Bereich der Umfeldinterpretation und der Regelungstechnik verfügen. Die gegenwärtigen öffentlich geförderten Projekte, in denen baden-württembergische Einrichtungen Forschung und Entwicklung im

Kapitel 7

Bereich des automatisierten Fahrens vorantreiben, sind vorwiegend inhaltlich in den Anwendungsfall Elektromobilität eingebettet. Darüber hinaus zeigt sich – losgelöst von den Aktivitäten einzelner Akteure –, dass baden-württembergische Unternehmen und Forschungseinrichtungen gemeinsam die Potenziale des vernetzten und automatisierten Fahrens erschließen. Dies belegt zum einen die Vielzahl von Verbundprojekten. Zum anderen besteht eine Reihe von thematisch-inhaltlichen Anknüpfungspunkten innerhalb der baden-württembergischen Clusterlandschaft. In Teilen fand hier bereits eine Institutionalisierung von Aktivitäten statt. Als Beispiel sei hier der „Cluster Elektromobilität Süd-West“, innerhalb dessen sich die „AG intelligent move“ gegründet hat, genannt.

Schließlich ist zu konstatieren, dass das vernetzte und automatisierte Fahren für Baden-Württemberg nicht nur große Chancen aus der Perspektive des Wirtschaftsstandortes als Leitanbieter, sondern auch aus der als Leitanwender birgt. Gelänge es, diese Anwendungen auch vor Ort in der Breite zum Einsatz zu bringen, könnten die hohen Wirkpotenziale im Hinblick auf Verkehrssicherheit und -effizienz erschlossen und Überlastsituationen im übergeordneten regionalen Straßennetz sowie in den Städten verringert werden.



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Regelkreis Fahrzeugführung mit und ohne Mensch.	8	Abbildung 42:	Hardware-, Installations- und Betriebskosten für eine öffentliche Ladestation für die Jahre 2010 und 2020.	54
Abbildung 2:	Umfeldsensoren.	9	Abbildung 43:	Energiebedarf homogener Lkw- bzw. Bus-Kolonnen im Vergleich zur gleichen Anzahl an Einzelfahrzeugen.	55
Abbildung 3:	Daimler „6D-Vision“.	13	Abbildung 44:	Störung des Verkehrsflusses durch strengere Regelbeachtung.	59
Abbildung 4:	Unterstützung von Fußgängern (z. B. durch auf die Straße projizierte Zebrastreifen), Ideen aus dem Prototyp F015.	14	Abbildung 45:	Selbstfahrende Schubmaststapler im Logistikzentrum.	61
Abbildung 5:	Temporäre Änderung der Verkehrsführung.	16	Abbildung 46:	Ausgewählte Produkte bzw. Produktankündigungen im Bereich des vernetzten und automatisierten Fahrens.	64
Abbildung 6:	Vernetzung im Automobil.	18	Abbildung 47:	Bisherige und antizipierte Entwicklung der Verkehrsnachfrage in Deutschland.	65
Abbildung 7:	Layer der Software-Architektur, definiert von AUTOSAR.	19	Abbildung 48:	Entwicklung des Anteils der Führerscheinerwerber in Baden-Württemberg.	66
Abbildung 8:	Kommunikationstechnologien für Fahrzeuge im Straßenverkehr.	20	Abbildung 49:	TomTom Congestion Index für ausgewählte deutsche Metropolen im Vergleich.	68
Abbildung 9:	Beispiele potenzieller Angriffspunkte.	23	Abbildung 50:	Trendwirkung auf die Nachfrage nach Mobilität als Produkt vs. Mobilität als Dienstleistung.	69
Abbildung 10:	Head-up-Display mit Navigation.	25	Abbildung 51:	Anzahl registrierter Car-Sharing-Nutzer in Deutschland 2009–2015.	69
Abbildung 11:	Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren.	26	Abbildung 52:	Trendwirkung auf die Nachfrage nach vernetztem Fahren vs. automatisiertem Fahren.	70
Abbildung 12:	Übernahmezeiten an einer Fahrbahnverengung beim hochautomatisierten Fahren.	27	Abbildung 53:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren.	73
Abbildung 13:	Kategorisierung von Fahrerassistenzsystemen.	27	Abbildung 54:	Ausgewählte inhaltliche Beiträge großer Beratungshäuser.	76
Abbildung 14:	Smartphone-Nutzung für Mehrwertdienste.	28	Abbildung 55:	Kosten je Kilometer Autofahrt.	78
Abbildung 15:	Stufen der Fahrzeugautomatisierung.	29	Abbildung 56:	Umsetzbarkeit von C2X-Anwendungen.	80
Abbildung 16:	Beispiele heutiger Systeme und Zuordnung zu den Automatisierungsstufen 0 bis 2.	30	Abbildung 57:	Akzeptanz von autonomen und vollautomatisierten, selbstfahrenden Fahrzeugen in verschiedenen Ländern.	81
Abbildung 17:	Beispiele zukünftiger Systeme und Zuordnung zu den Automatisierungsstufen 3 bis 5.	31	Abbildung 58:	Gründe für den Kauf eines vollautomatisierten Fahrzeugs aus Nutzersicht.	82
Abbildung 18:	Beispiele für Fahrzeugsysteme zur Automatisierung und Vernetzung.	32	Abbildung 59:	Baden-württembergische Akteure mit unmittelbarem Bezug zur Fahrzeugvernetzung und zum automatisierten Fahren.	86
Abbildung 19:	Akteure im C2X-Systemverbund.	37	Abbildung 60:	Forschungsfahrzeug CoCar.	88
Abbildung 20:	Technikdemonstration neuer Testverfahren für Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Notausweichen bei kreuzendem Verkehr.	38	Abbildung 61:	Institutionalisierung relevanter Forschungsaktivitäten am KIT.	90
Abbildung 21:	Demonstration der Erkennung und Darstellung von schwächeren Verkehrsteilnehmern.	40	Abbildung 62:	Bedeutung themenrelevanter Kompetenzen in Baden-Württemberg in den Technologiefeldern und Clusterinitiativen.	93
Abbildung 22:	Route der Audi-Fahrt zur CES.	40	Abbildung 63:	Anteil der Erwerbstätigen an der Gesamtzahl der Erwerbstätigen auf Kreisebene im Jahr 2013.	94
Abbildung 23:	„Geisterstadt“ in Michigan als Testgebiet für automatisiertes und vernetztes Fahren.	42	Abbildung 64:	Entwicklung und Lokalisation des Automobilbaus, benachbarter Branchen und der zehn größten Branchen Baden-Württembergs 2008–2013.	95
Abbildung 24:	Cooperative ITS Corridor.	42	Abbildung 65:	Fokussierung einzelner Bundesländer auf die Automobilindustrie (Beschäftigte pro Tausend Einwohner) im Jahr 2013.	96
Abbildung 25:	Geplante Daimler-Teststrecke.	43	Abbildung 66:	Stufen der Wertschöpfung.	96
Abbildung 26:	Versuchsfahrzeug „Leonie“.	44	Abbildung 67:	Anzahl der fahrverhaltensbasierten Versicherungsverträge in Großbritannien.	112
Abbildung 27:	Mercedes-Benz S500.	44			
Abbildung 28:	BMW 2er Coupé Connected Drive.	44	Tabelle 1:	Nachbildung menschlicher Fähigkeiten und Affektlogiken durch Technik.	9
Abbildung 29:	Google Self-Driving Car.	45	Tabelle 2:	Übersicht zu Umfeldsensoren.	10
Abbildung 30:	EO smart connecting car 2.	45	Tabelle 3:	Spezifische Eigenschaften ausgewählter Kommunikationstechnologien.	22
Abbildung 31:	AutoTram® Extra Grand.	45	Tabelle 4:	Verschlüsselungszeiten.	24
Abbildung 32:	Shuttle-Fahrzeug in Greenwich.	46	Tabelle 5:	Überblick ausgewählter relevanter nationaler und europäischer Forschungsprojekte.	35
Abbildung 33:	Testfahrzeuge zur Auswahl in CityMobil2.	46	Tabelle 6:	Wirkungen auf die Verkehrssicherheit für ausgewählte C2X-Anwendungsfälle.	52
Abbildung 34:	Lkw-Platooning.	46	Tabelle 7:	Überblick der relevanten Trends und deren Bewertung im Rahmen der Wirkungsanalyse.	67
Abbildung 35:	Freightliner Inspiration Truck.	47	Tabelle 8:	Institutionalisierung ausgewählter Akteurskooperationen im Bereich des vernetzten und automatisierten Fahrens.	71
Abbildung 36:	Auswahl gegenwärtig bekannter selbstfahrender Fahrzeuge und Fahrzeugkonzepte aus dem Pkw- und Lkw-Bereich.	47	Tabelle 9:	Neue Akzente in der Forschungsförderung im Bereich des automatisierten Fahrens.	74
Abbildung 37:	Rollstuhl „Rolland“.	48	Tabelle 10:	Ausgewählte von der öffentlichen Hand ausgeschriebene Studien zur Einführung des vernetzten bzw. automatisierten Fahrens.	75
Abbildung 38:	Volocopter VC200.	48	Tabelle 11:	Antizipierte Marktdurchdringung für die vier relevanten Marktsegmente.	77
Abbildung 39:	Hoverbike.	49	Tabelle 12:	Priorisierung von C2X-Anwendungsfällen aus Nutzersicht.	79
Abbildung 40:	Kapazitätsänderungen durch unterschiedliche Anteile von Lkw-Kolonnen.	51	Tabelle 13:	Ausgewählte Wissenschaftseinrichtungen in Baden-Württemberg und deren technologisches Kompetenzportfolio.	89
Abbildung 41:	Automatisiertes Laden im ÖPNV.	54	Tabelle 14:	Ausgewählte Forschungsprojekte in Baden-Württemberg im zeitlichen Verlauf.	91

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ABS	Antiblockiersystem
ACC	Adaptive Cruise Control, Abstandsregeltempomat
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
AES	Advanced Encryption Standard
AG	Aktiengesellschaft
AUTOSAR	AUTomotive Open System ARchitecture
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BDSG	Bundesdatenschutzgesetz
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BGH	Bundesgerichtshof
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-Consumer
B2B2C	Business-to-Business-to-Consumer
CAN	Controller Area Network
CO2	Kohlenstoffdioxid
CPU	Central Processing Unit
C2C	Car-to-Car Kommunikation
C2C CC	Car-to-Car Communication Consortium
C2I	Car-to-Infrastructure Kommunikation
C2X	Car-to-X Kommunikation
DAB/DAB+	Digital Audio Broadcasting
DIN	Deutsches Institut für Normung
EPS	Electric Power Steering, elektrische Servolenkung
ESC	Electronic Stability Control, elektronische Stabilitätskontrolle
ESoP	European Statements of Principles on Human-Machine-Interface
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EU	Europäische Union
FAS	Fahrerassistenzsysteme
FCW	Front Collision Warning, Auffahrwarnsystem
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FKFS	Forschungsinstitut für Kraffahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart
FM	Frequency Modulation Radio Broadcasting
Fraunhofer IAO	Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
Fraunhofer IVI	Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IV
FuE	Forschung und Entwicklung
FuSI	funktionale Sicherheit

FZI	Forschungszentrum Informatik
GHz	Gigahertz
GLONASS	Globales Satellitennavigationssystem
GPS	Global Positioning System
HMI	Human-Machine-Interface, Mensch-Maschine-Schnittstelle
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
ISO	International Organization for Standarization
ITS G5	Intelligent Transport Systems 5GHz
IVS	Intelligente Verkehrssysteme
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
LAN	Local Area Network
LDW	Lane Departure Warning, Spurverlassenswarnung
LIDAR	Light Detection and Ranging System
LIN	Local Interconnect Network
LKA	Lane Keeping Assist, Spurhalteassistent
LTE	Long Term Evolution (Telekommunikation)
MOST	Media Oriented Systems Transport
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
OEM	Original Equipment Manufacturer
ProdHaftG	Produkthaftungsgesetz
RDS	Radio Data System
RTE	Echtzeitumgebung
SAE	Society of Automotive Engineers
SHARE	Schaeffler Hub for Automotive Research in E-Mobility am KIT
StVG	Straßenverkehrsgesetz
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
TKG	Telekommunikationsgesetz
TMC	Traffic Message Channel
TMG	Telemediengesetz
TPEG	Transport Protocol Experts Group
TÜV	Technischer Überwachungsverein
UKW	Ultrakurzwellen
UN	United Nations
VDA	Verband der Automobilindustrie
WiFi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WÜ	Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr

LITERATURVERZEICHNIS

- 1 1PW (2011)
Zusammenhang zwischen Brute-Force-Attacken und Passwortlängen. Abgerufen unter <http://www.1pw.de/brute-force.html> am 24.03.2015.
- 2 ADAC (2015)
Staubilanz 2014. Abgerufen unter https://www.adac.de/_mmm/pdf/statistik_staubilanz_0215_231552.pdf am 01.07.2015.
- 3 AFC (2015)
AFC Akzeptanzstudie: Autonomes Fahren. Abgerufen unter <https://www.acv.de/uploads/2015/02/acv-akzeptanzstudie-autonomes-fahren.pdf> am 20.04.2015.
- 4 AKTIV (2009)
CoCar Feasibility Study – Technology, Business and Dissemination. Abgerufen unter http://www.aktiv-online.org/deutsch/Downloads/2009-05-14%20CoCar%20Milestone/CoCar_D04%20public.pdf am 15.04.2015.
- 5 Allianz pro Schiene (2015)
Verkehr ist Klimasünder Nummer eins. Pressemitteilung vom 22.07.2015. Abgerufen unter <http://www.allianz-pro-schiene.de/presse/pressemitteilungen/2015/025-allianz-pro-schiene-und-bahnhofsmision-zur-papst-enzyklika/> am 22.07.2015.
- 6 ark-invest.com (2014)
Low Cost LiDAR Will Save Lives. Abgerufen unter <http://ark-invest.com/webx0/low-cost-lidar-will-save-lives> am 04.05.2015.
- 7 ATZ extra (2015)
Fahrerassistenzsysteme – auf dem Weg zum autonomen Fahren? Ausgabe April 2015, S. 7, Springer Verlag.
- 8 augsburger-allgemeine.de (2013)
Audi eröffnet E-Solutions-Standort: Infotainment im Auto. Abgerufen unter <http://www.augsburger-allgemeine.de/wirtschaft/Audi-eroeffnet-E-Solutions-Standort-Infotainment-im-Auto-id24456651.html> am 29.04.2015.
- 9 Ausserer, K.; Risser, R.; Turetschek, C.; Reiss-Enz, V. (2006)
Verkehrstelematik – der Mensch und die Maschine. Überblick über Verkehrstelematiksysteme und psychologische und sozialwissenschaftliche Überlegungen zum Thema Verkehr und Telematik. Studie der FACTUM Chaloupka & Risser OHG im Auftrag des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit).
- 10 autobild.de (2015)
Briten fahren autonom. Abgerufen unter <http://www.autobild.de/artikel/grossbritannien-erlaubt-tests-ohne-fahrer-5593675.html> am 15.05.2015.
- 11 autogazette.de (2014a)
Autonomes Fahren verändert Innenstädte. Abgerufen unter <http://www.autogazette.de/mercedes/parkplatz/autonom/dort-fussball-spielen-wo-sonst-autos-fahren-489385.html> am 14.04.2015.
- 12 autogazette.de (2014b)
Wir reden bereits von der digitalen Karte 3.0. Abgerufen unter <http://www.autogazette.de/hellmis/here/autonom/wir-reden-bereits-von-der-digitalen-karte-3-0-499136.html> am 14.04.2015.
- 13 autogazette.de (2014c)
Wettlauf um Vorherrschaft beim autonomen Fahren. Abgerufen unter <http://www.autogazette.de/mercedes/s500/autonom/wettlauf-um-vorherrschaft-beim-autonomen-fahren-470964.html> am 01.06.2015.
- 14 autogazette.de (2015)
Audi A7: Jack fährt autonom 900 Kilometer. Abgerufen unter <http://www.autogazette.de/audi/a7/autonom/audi-a7-jack-faehrt-autonom-900-kilometer-499733.html> am 01.08.2015.
- 15 auto-motor-und-sport.de (2015)
Autonomes Fahren ist die Entmannung des Autofahrers. Abgerufen unter <http://www.auto-motor-und-sport.de/news/bawue-verkehrsminister-hermann-autonomes-fahren-ist-die-entmannung-des-deutschen-autofahrers-683162.html> am 05.07.2015.
- 16 automobil-produktion.de (2015a)
PSA und IBM beschleunigen Connected Car Services. Abgerufen unter <http://www.automobil-produktion.de/2015/04/psa-und-ibm-beschleunigen-connected-car-services/> am 05.05.2015.
- 17 automobil-produktion.de (2015b)
Bosch und TomTom kooperieren bei Karten für automatisiertes Fahren. Abgerufen unter <http://www.automobil-produktion.de/2015/07/bosch-und-tomtom-kooperieren-bei-kartentechnologie-fuer-automatisiertes-fahren/> am 03.08.2015.
- 18 automobil-produktion.de (2015c)
Schon 2017: Neuer Audi A8 soll bis 140 km/h autonom fahren können. Abgerufen unter <http://www.automobil-produktion.de/2015/04/schon-2017-neuer-audi-a8-soll-bis-140-kmh-autonom-fahren-koennen/> am 01.08.2015.
- 19 automobilwoche.de (2015)
McKinsey-Studie: Autonomes Fahren verändert nicht nur Autoindustrie. Abgerufen unter <http://www.automobilwoche.de/article/20150303/NACHRICHTEN/303039971/mckinsey-studie-autonomes-fahren-veraendert-nicht-nur-autoindustrie#.VVyN20YxDR4> am 01.07.2015.
- 20 automotive-bw.de (2015)
Das Automobilland Baden-Württemberg. Abgerufen unter <http://automotive-bw.de/de/unternehmen/GrusswortMinister.php> am 02.07.2015.
- 21 autonomes-fahren.de (2015a)
Google hatte 11 Unfälle. Abgerufen unter <http://www.autonomes-fahren.de/google-hatte-11-unfaelle/> am 15.05.2015.
- 22 autonomes-fahren.de (2015b)
Roboter-Taxis in Japan. Abgerufen unter <http://www.autonomes-fahren.de/roboter-taxis-in-japan/> am 15.05.2015.
- 23 BASt (2015)
Getötete im Straßenverkehr. Abgerufen unter http://www.bast.de/DE/Statistik/Unfaelle-Downloads/getoetete-grafik.pdf;jsessionid=3E886492D12EF44A92BC8DEFFEF2D2A8.live2051?__blob=publicationFile&v=5 am 03.06.2015.
- 24 BCG (2015)
Back to the Future: The Road to Autonomous Driving. Abgerufen unter <http://de.slideshare.net/TheBostonConsultingGroup/the-road-to-autonomous-driving> am 14.04.2015.
- 25 Bergenhem, C.; Huang, Q.; Benmimoun, A.; Robinson, T. (2010)
Challenges of Platooning on Public Motorways. In: Proceedings of the 17th ITS World Congress, Busan, Korea, October 25–29, 2010.
- 26 Berliner Republik (2015)
Mobilität der Zukunft – beginnt heute. Innovationsdialog 2015.
- 27 Berylls (2013)
Car Connectivity Compass.
- 28 Bewersdorf, C. (2005), Zulassung und Haftung bei Fahrerassistenzsystemen im Straßenverkehr. Bierstedt, J.; Gooze, A.; Gray, C.; Peterman, J.; Raykin, L.; Walters, J. (2014)
Effects on next-generation vehicles on travel demand and highway capacity. Abgerufen unter http://orfe.princeton.edu/~alaink/Papers/FP_NextGenVehicleWhitePaper012414.pdf am 01.04.2015.
- 29 bild-der-wissenschaft.de (2014)
Einfach mal loslassen. Abgerufen unter http://www.bild-der-wissenschaft.de/bdw/bdwlive/heftarchiv/index2.php?object_id=33847631 am 15.05.2015.
- 30 BITKOM (2013)
IT meets Automotive.
- 31 bloomberg.com (2014)
GM to Introduce Hands-Free Driving in Cadillac Model. Abgerufen unter <http://www.bloomberg.com/news/articles/2014-09-07/gm-to-introduce-hands-free-driving-in-cadillac-model> am 01.04.2015.
- 32 BMBF (2015a)
Gesellschaftliche Entwicklungen 2030. BMBF-Foresight-Zyklus II. Suchphase 2012–2014.
- 33 BMBF (2015b)
Bekanntmachung von Richtlinien des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet „Mensch-Technik-Interaktion (MTI) für eine intelligente Mobilität: verlässliche Technik für den mobilen Menschen“. Abgerufen unter <http://www.bmbf.de/foerderungen/27062.php> am 20.06.2015.
- 34 BMBF (2015c)
Bekanntmachung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von Richtlinien zur Förderung von Forschungsinitiativen auf dem Gebiet der „Elektroniksysteme für das vollautomatisierte Fahren (ELEVATE)“ im Rahmen des Förderprogramms IKT2020. Abgerufen unter <http://www.bmbf.de/foerderungen/29172.php> am 03.08.2015.
- 35 BMU (2014a)
Klimaschutz in Zahlen.
- 36 BMU (2014b)
Aktionsprogramm Klimaschutz 2020.
- 37 BMVI (2015)
Cooperative ITS Corridor Joint Deployment. Abgerufen unter www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Strasse/flyer-eurokorridor-cooperative-its-corridor-in-deutsch.pdf?__blob=publicationFile am 04.05.2015.

- 38 BMWi (2015a)
Richtlinie zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten im Rahmen des BMWi-Programms „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“. Abgerufen unter http://www.tuvpt.de/fileadmin/downloads/Richtline_BMWi-NFST_2015-06-23.pdf am 14.07.2015.
- 39 BMWi (2015b)
Branchenfokus Automobilindustrie/Maschinen- und Anlagenbau. Abgerufen unter <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Wirtschaft/branchenfokus.html> am 20.05.2015.
- 40 Bosch (2015)
Bosch und Daimler automatisieren das Parken: Mercedes mit eingebauter Vor-Fahrt. Pressemitteilung vom 09.06.2015. Abgerufen unter http://www.bosch-presse.de/presseforum/details.htm?txtID=7282&tk_id=108 am 16.06.2015.
- 41 Bub, U.; Wolfenstetter, K.-D. (Hrsg.) (2011)
IT-Sicherheit zwischen Regulierung und Innovation, Vieweg + Teubner Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- 42 Bundesagentur für Arbeit (2014)
Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeitsort nach Ausbildungen der Klassifikation der Berufe 1988 und Berufsabschlüssen der Klassifikation der Berufe 2010 insgesamt und Wirtschaftsabteilungen der WZ 2008; Deutschland, Länder, Kreise und kreisfreie Städte; Jahresdurchschnittswerte 2008 bis 2013.
- 43 Bundesverband Carsharing (2015)
CarSharing-Entwicklung in Deutschland. Abgerufen unter http://www.carsharing.de/sites/default/files/uploads/presse/pdf/grafik_carsharing-entwicklung_1997-2015_gesamt_mit_logo.pdf am 14.04.2015.
- 44 BVU/ITP/IVV/planco (2014)
Verkehrsverflechtungsprognose 2030.
- 45 bw-invest.de (2015a): Baden-Württemberg – ein exzellenter Standort für Forschung und Entwicklung. Abgerufen unter <http://www.bw-invest.de/de/home/marktueberblick/branchen/mobilitaet/automobilhersteller-zulieferer/forschung.html> am 10.07.2015.
- 46 car-it.com (2013a): „Pay-as-you-drive“ verändert Kfz-Versicherung. Abgerufen unter <http://www.car-it.com/pay-as-you-drive-veraendert-kfz-versicherung/id-0038588> am 18.05.2015
- 47 car-it.com (2013b)
Technologiemarke für Car2Car Communication. Abgerufen unter <http://www.car-it.com/technologiemarke-fur-car2car-communication/id-0036375> am 01.04.2015.
- 48 caranddriver.com (2014)
Toyota – of All Companies – Defends Drivers, Says It Won't Build a Fully Autonomous Car. Abgerufen unter <http://blog.caranddriver.com/toyota-defends-drivers-says-it-wont-build-a-fully-self-driving-car/> am 01.09.2015.
- 49 Cisco (2011)
A Business Case for Connecting Vehicles.
- 50 Cisco (2013)
Car Buying Experience Goes Digital. Abgerufen unter https://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/ccer_report_manufacturing.pdf am 24.04.2015.
- 51 ComputerBild.de (2015)
Diese 20 Autos sind Selbstfahrer. Abgerufen unter <http://www.computerbild.de/fotos/cb-News-Connected-Car-Diese-20-Autos-sind-Selbstfahrer-11797459.html#1> am 25.05.2015.
- 52 Daimler (2013)
Daimler gründet Tochtergesellschaft für innovative Mobilitätsdienstleistungen. Abgerufen unter <http://media.daimler.com/dccmdia/0-921-614319-49-1567397-1-0-0-0-0-0-0-0-1-0-0-0-0-0-0-0.html> am 01.04.2015.
- 53 Daimler (2014)
Rechtliche Voraussetzungen und Zeithorizont für autonomes Fahren. Abgerufen unter <http://www.daimler.com/dccom/0-5-1714412-49-1714429-1-0-0-1714446-0-0-135-7165-0-0-0-0-0-0-0.html> am 15.04.2015.
- 54 Damböck, D.; Farid, M.; Tönert, L.; Bengler, K. (2012)
Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren. 5. Tagung Fahrerassistenz.
- 55 Destatis (2015)
Bevölkerung nach Altersgruppen. Abgerufen unter https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen_/Irbv01.html am 01.07.2015.
- 56 Detecon (2014)
Detecon Management Report.
- 57 Deutscher Bundestag (2014)
Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Herbert Behrens, Karin Binder, Heidrun Bluhm, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. Drucksache 18/2072; Zukunft des autonomen Automobils. Drucksache 18/2215.
- 58 DHL (2014)
Self-Driving Vehicles in Logistics – A DHL perspective on implications and use cases for the logistics industry; DHL Customer Solutions & Innovation, 53844 Troisdorf, Germany, 2014.
- 59 DLR (2014)
Einführungsvortrag „Autonomes Fahren“. Abgerufen unter http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Aktuelles___Presse/Dossiers/Dossier_Mobilitaet/Akademietag_2014/acatech-Akademietag_Vortrag_Lemmer.pdf am 07.04.2015.
- 60 Ebner, H.-T.
Motivation und Handlungsbedarf für automatisiertes Fahren. Vortrag auf dem DVR-Kolloquium Automatisiertes Fahren am 11.12.2013 in Bonn. Abgerufen unter www.dvr.de/download2/p3745/3745_0.pdf am 16.04.2015.
- 61 Eetimes (2012)
Continental sketches car-to-x landscape. Abgerufen unter http://www.automotive-eetimes.com/en/continental-sketches-car-to-x-landscape.html?cmp_id=7&news_id=222902596&page=0 am 28.05.2015.
- 62 elektroniknet.de (2010)
Automation trifft Automotive. Abgerufen unter <http://www.elektroniknet.de/automotive/tools/artikel/28350/5/> am 15.05.2015.
- 63 elektroniknet.de (2014)
Gründung der Volkswagen Infotainment GmbH. Abgerufen unter <http://www.elektroniknet.de/automotive/infotainment/artikel/110495/> am 20.04.2015.
- 64 e-mobil BW (2015)
Strukturstudie BW[®] mobil 2015. Abgerufen unter http://www.e-mobilbw.de/de/service/publikationen.html?file=files/e-mobil/content/DE/Publikationen/PDF/14524_Structurstudie_RZ_WebPDF.pdf
- 65 Cluster Elektromobilität Süd-West (2015)
AG Intelligent Move. Abgerufen unter <http://www.emobil-sw.de/de/aktivitaeten/ag-intelligent-move.html> am 02.04.2015.
- 66 eNOVA (2014)
Positionspapier Automatisiertes Fahren – Chancen für die Elektromobilität. Abgerufen unter <http://www.strategiekreis-elektromobilitaet.de/public/files/enova-positionspapier-automatisiertes-fahren> am 02.03.2015.
- 67 Ericsson (2013)
LTE for utilities – Supporting smart grids, Ericsson, White Paper, Uen 285 23–3208, Sept. 2013.
- 68 Europäische Kommission (2011)
Weißbuch Verkehr 2050.
- 69 Europäische Kommission (2015)
Safe and connected automation in road transport. Abgerufen unter <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/2648-mg-3.6b-2015.html> am 02.07.2015.
- 70 Europäisches Parlament (2015)
„eCall“ automatisches Notrufsystem in allen neuen Automodellen ab Frühling 2018. Abgerufen unter <http://www.europarl.europa.eu/news/de/news-room/content/20150424IPR45714/html/eCall-Automatisches-Notrufsystem-in-allen-neuen-Automodellen-ab-Fr%C3%BChling-2018> am 28.05.2015.
- 71 FAA (2015)
Regulations will facilitate integration of small UAS into U.S. aviation system. Abgerufen unter http://www.faa.gov/news/press_releases/news_story.cfm?newsId=18295&cid=TW299 am 16.04.2015.
- 72 fahrueckt.de (2013)
Blick hinter die Kulissen: Wie der Stau ins TomTom kommt. Abgerufen unter <http://www.fahrueckt.de/2013/08/13/tomtom-traffic-hd-verkehrsinformationen/> am 01.04.2015.
- 73 faz.net (2013)
240 Millionen Kilometer mit dem Roboterauto. Abgerufen unter <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/langer-atem-in-der-forschung-240-millionen-kilometer-mit-dem-roboterauto-12646674.html> am 16.04.2015.
- 74 faz.net (2015a)
Spatenstich für neue Daimler-Teststrecke. Abgerufen unter <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/daimlerbaut-neue-teststrecke-in-baden-wuerttemberg-13437855.html> am 11.05.2015.

- 75 faz.net (2015b)
Amerikaner arbeitet an „Hoverbike“. Abgerufen unter <http://www.faz.net/aktuell/technik-motor/usa-baut-ein-hoverbike-das-an-star-wars-erinnert-13664076.html> am 02.07.2015.
- 76 fortiss (2013)
Mehr Software (im) Wagen: Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) als Motor der Elektromobilität der Zukunft, Abschlussbericht des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Verbundvorhabens „eCar-IKT-Systemarchitektur für Elektromobilität“. Abgerufen unter <http://download.fortiss.org/public/ikt2030/ikt2030de.pdf> am 03.03.2015.
- 77 Fraunhofer IAO (2013)
Systemanalyse BW e-mobil.
- 78 Friedl, G. et al. (2014)
„Broadcast oder broadband? Zur Zukunft der terrestrischen Radioversorgung“, Gutachten zur Radioübertragung über DAB+ oder LTE in Bayern – ein Kostenvergleich der Bereitstellung im Auftrag der Bayerischen Landeszentrale für neue Medien (BLM) und des Bayerischen Rundfunks (BR).
- 79 Gasser, T. M. et al. (2012)
Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung, Bergisch Gladbach, Bundesanstalt für Straßenwesen, 2012. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe „Fahrzeugsicherheit“, Heft F 83, Januar 2012.
- 80 Gastel, M. (2014)
Junge Leute verzichten immer häufiger auf Führerschein. Abgerufen unter <http://www.matthias-gastel.de/junge-leute-verzichten-immer-haeufiger-auf-fuehrerschein/#.VTYS9JMxC7k> am 03.03.2015.
- 81 GM (2015)
MIT Technology Review Names V2V One of 10 Breakthrough Technologies for 2015. Abgerufen unter <http://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2015/feb/0218-mit.html> am 01.03.2015.
- 82 golem.de (2015a)
Tesla Model S soll in drei Monaten automatisiert fahren. Abgerufen unter <http://www.golem.de/news/software-update-tesla-model-s-soll-in-drei-monaten-automatisiert-fahren-1503-113073.html> am 01.07.2015.
- 83 golem.de (2015b)
Audi A7 fährt autonom auf der A9. Abgerufen unter <http://www.golem.de/news/realbedingungen-audi-a7-faehrt-autonom-auf-der-a9-1504-113441.html> am 15.08.2015.
- 84 golem.de (2015c)
Lieferdrohnen fliegen Ingwertee aus. Abgerufen unter <http://www.golem.de/news/alibaba-chinesische-lieferdrohnen-bringen-ingwertee-1502-112153.html> am 05.07.2015.
- 85 Gomes, L. (2014)
Schlaglöcher, Papierfetzen und andere Probleme. In: heise online, Technology Review, 05.09.2014. Abgerufen unter <http://www.heise.de/tr/artikel/Schlagloecher-Papierfetzen-und-andere-Probleme-2327769.html> am 11.05.2015.
- 86 gummibereifung.de (2015)
D’Ieteren und Continental gründen Joint-Venture. Abgerufen unter <http://www.gummibereifung.de/nachrichten/dieteren-continental-gruenden-joint-venture> am 15.05.2015.
- 87 heise.de (2014a)
VW übernimmt BlackBerry-Entwicklungszentrum in Bochum. Abgerufen unter <http://www.heise.de/newsticker/meldung/VW-uebernimmt-Blackberry-Entwicklungszentrum-in-Bochum-2244089.html> am 15.05.2015.
- 88 heise.de (2014b)
Vernetztes Auto: Telekom und China Mobile gründen Joint Venture. Abgerufen unter <http://www.heise.de/autos/artikel/Vernetztes-Auto-Telekom-und-China-Mobile-gruenden-Joint-Venture-2415001.html> am 01.07.2015.
- 89 heise.de (2014c)
Mercedes kippt Nachrüstsatz für Apples CarPlay. Abgerufen unter <http://www.heise.de/mac-and-i/meldung/Mercedes-kippt-Nachruestsatz-fuer-Apples-CarPlay-2297975.html> am 01.07.2015.
- 90 heise.de (2015a)
BMW ConnectedDrive gehackt Abgerufen unter <http://www.heise.de/security/meldung/BMW-ConnectedDrive-gehackt-2533601.html> am 01.04.2015.
- 91 heise.de (2015b)
Michigan eröffnet Stadtviertel speziell für autonome Autos. Abgerufen unter <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Michigan-eroeffnet-Stadtviertel-spezial-fuer-autonome-Autos-2768523.html> am 16.08.2015.
- 92 Hentschel, P.; König, P.; Dauer, P. (2009)
Straßenverkehrsrecht. 40. Auflage.
- 93 Hessen mobil (2015)
Wenn die Baustelle mit dem Auto spricht ... Abgerufen unter <http://a5-baustelle.de/fakten/wenn-die-baustelle-mit-dem-auto-spricht/> am 02.07.2015.
- 94 IAV (2015)
Von hochvernetzt bis hochautomatisiert. Abgerufen <https://www.iav.com/automotion-magazine/automotion-01-2015/von-hochvernetzt-bis-hochautomatisiert> unter am 01.08.2015.
- 95 ibtimes.com (2015)
Self-Driving Cars: Japan Wants To Establish Global Standard For Autonomous Vehicle Technology, Safety, Infrastructure. Abgerufen unter <http://www.ibtimes.com/self-driving-cars-japan-wants-establish-global-standard-autonomous-vehicle-technology-1829404> am 01.09.2015.
- 96 ifmo (2014)
Die Zukunft der Mobilität: Szenarien für Deutschland in 2035.
- 97 informationweek.com (2014)
IBM Analytics Improve BMW Auto Quality. Abgerufen unter <http://www.informationweek.com/big-data/software-platforms/ibm-analytics-improve-bmw-auto-quality/d/d-id/1127625> am 21.05.2015.
- 98 ingenieur.de (2012)
„Predictive Maintenance“: Vorhersagemodelle krepeln die Wartung um. Abgerufen unter <http://www.ingenieur.de/Themen/Forschung/Predictive-Maintenance-Vorhersagemodelle-krepeln-Wartung-um> am 26.05.2015.
- 99 KBA (2015)
Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2015. Abgerufen unter http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html am 01.07.2015.
- 100 Klaußner, S.; Irtenkauf, P. (2013)
Autonome Kolonnenfahrt auf Autobahnen – Stand der Technik, Umsetzung, Auswirkungen auf den Verkehrsfluss.
- 101 KPMG (2013)
Self-driving cars: Are we ready?
- 102 KPMG & CAR (2012)
Self-driving cars: The next revolution.
- 103 Kühling, J.; Sivridis, A.; Seidel, C. (2008)
Datenschutzrecht.
- 104 Land, K.-H. (2015)
Big picture: Die Welt in 10 Jahren, was waren die Treiber?
- 105 Löwer, Ch. (2012)
Hier arbeiten Bauern von morgen, P.M.-Magazin 11/2012, S.83–87, Abgerufen unter http://www.ecs.hs-osnabrueck.de/uploads/media/2012_11_P.M._Hier_arbeiten_Bauern_von_morgen.pdf am 10.04.2015.
- 106 make-it-in-germany.com (2015)
Automobilindustrie. Abgerufen unter <http://www.make-it-in-germany.com/de/fuer-fachkraefte/arbeiten/branchenportraits/automobilindustrie> am 10.07.2015.
- 107 McKinsey (2014)
Connected car, automotive value chain unbound.
- 108 Merat, N.; Jamson, A. J.; Lai, F.; Carsten, O. (2014)
Human Factors of Highly Automated Driving: Results from the EASY and CityMobil Projects. In: Road Vehicle Automation, Lecture Notes in Mobility, Springer International Publishing, 2014, S. 113 ff.
- 109 Mercedes (2013a)
Autonomes Fahren wird stufenweise Realität. Abgerufen unter <http://next.mercedes-benz.com/herrtwich/> am 16.04.2015.
- 110 Mercedes (2013b)
Autonome Fahrzeuge fahren völlig anders. Abgerufen unter <http://next.mercedes-benz.com/frazzoli/> am 16.04.2015.
- 111 Mercedes (2013c)
Autonom auf den Spuren von Bertha Benz. Abgerufen unter <http://next.mercedes-benz.com/autonom-auf-den-spuren-von-bertha-benz> am 05.05.2015.
- 112 metawelle.net (2012)
Autonome Einkaufswagen. Abgerufen unter <http://metawelle.net/2012/02/28/autonome-einkaufswagen/> am 15.05.2015.
- 113 MFB BW (2012)
Bausteine der Clusterstrategie Baden-Württembergs.

- 114 Neukum, A.; Naujoks, F.; Kappes, S.; Wey, T. (2014) Kontrollierbarkeit unerwarteter Eingriffe eines Bremsassistentensystems aus Perspektive des Folgeverkehrs. In: Tagungsband des 9. Workshops Fahrerassistenzsysteme (FAS2014), S. 115 ff.
- 115 NHTSA (2009) National Highway Traffic Safety Administration: Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles, Technical Report, DOT HS 811 204. Abgerufen unter <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811204.PDF> am 26.03.2015.
- 116 NXP (2014) NXP Pushes Car-to-X market with Launch of New RoadLINK Solution. Abgerufen unter <http://www.nxp.com/news/press-releases/2014/06/nxp-pushes-car-to-x-market-with-launch-of-new-roadlink-solution.html> am 01.06.2015.
- 117 Prognos/EWI/gws (2014) Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose.
- 118 Prognos/Fraunhofer IVI (2015) Industriepolitisches Grundkonzept für den Bereich Intelligente Verkehrssysteme im Freistaat Sachsen.
- 119 puls (2015) Autonomes Fahren „Guck mal – freihändig.“ Repräsentative puls Studie bei 1.003 Autofahrern zur Akzeptanz autonomer Fahrzeuge. Abgerufen unter www.puls-marktforschung.de/images/926/2015-06-puls-studie-autonomes-fahren-auszug.pdf am 10.07.2015.
- 120 PwC (2014) Connected Car Studie 2014.
- 121 Randelhoff, M. (2014) Die wahren Kosten eines Kilometers Autofahrt. Abgerufen unter <http://www.zukunft-mobilitaet.net/2487/strassenverkehr/die-wahren-kosten-eines-kilometers-autofahrt/> am 27.05.2015.
- 122 Reif, K. (Hrsg.) (2010b) Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsysteme, 1. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- 123 robotictrends.com (2015) Audi A7 Self-Driving Car Arrives at CES: Gamble Pays Off. Abgerufen unter http://www.robotictrends.com/article/audi_a7_self_driving_car_arrives_in_vegas_gamble_pays_off/CES am 01.06.2015.
- 124 Roland Berger (2012a) Technik und Zukunft des vernetzten Fahrzeugs.
- 125 Roland Berger (2012b) Connected Vehicle – Conquering the Value of Data.
- 126 Roland Berger (2014) Autonomous Driving. Think – Act.
- 127 Rüh, K.; Berr, W.; Berz, U. (1988) Straßenverkehrsrecht: Kommentar zur Straßenverkehrsordnung (StVO), §§ 1–6d, 21–47 Straßenverkehrsgesetz (StVG) und Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO).
- 128 Ruttke, T. Automatisiertes Fahren und Fahrerverhalten: Potentiale und Gefahren auf dem Weg zur Automatisierung. Vortrag auf dem DVR-Kolloquium Automatisiertes Fahren am 11.12.2013 in Bonn. Abgerufen unter http://www.dvr.de/download2/p3745/3745_1.pdf am 16.04.2015.
- 129 SAE (2014) Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. Report J3016.
- 130 Santa, C.; Kath, J.; Mathias, P.; Schendzielorz, T. (2014) Potenziale kooperativer Lichtsignalsteuerung zur Steigerung der Verkehrseffizienz und -sicherheit, Straßenverkehrstechnik 10.2014.
- 131 Schoettle, B.; Sivak, M. (2014) Public Opinion about Self-Driving Vehicles in China, India, Japan, the U.S., the U.K., and Australia. The University of Michigan, Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan 48109-2150, USA, Report No. UMTRI-2014-30, October 2014.
- 132 Schoettle, B.; Sivak M. (2015) Potential Impact of Self-Driving Vehicles on Household Vehicle Demand and Usage, The University of Michigan, Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan 48109-2150, USA, Report No. UMTRI-2015-3, February 2015.
- 133 Schöttle, M. (2015) Leitbild automatisiertes Fahren. Technik, Recht und gesellschaftliche Akzeptanz. In: ATZextra, Ausgabe 07/2015.
- 134 Shell/Prognos (2014) Shell Pkw-Szenarien bis 2040.
- 135 Siebenpfeiffer, W. (Hrsg.) (2014) Vernetztes Auto, Sicherheit – Car-IT – Konzepte, Springer Vieweg, Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- 136 Siemens (2015) Elektrifizierter Straßengüterverkehr. Abgerufen unter <http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/de/fernverkehr/strassenverkehr/elektrifizierter-fernverkehr-eHighway/Seiten/elektrifizierter-schwerlastverkehr-eHighway.aspx> am 10.05.2015.
- 137 simTD (2009) Deliverable D11.1 Beschreibung der C2X-Funktionen.
- 138 simTD (2013a) Deliverable D5.5 – Teil B-4, TP5-Abschlussbericht – Teil B-4, Ökonomische Analyse.
- 139 simTD (2013b) Deliverable D5.5 – Teil B-2, TP5-Abschlussbericht – Teil B-2, Nutzerakzeptanz, IT-Sicherheit, Datenschutz und Schutz der Privatsphäre.
- 140 simTD (2013c) Deliverable D5.5 – Teil B-1A, TP5-Abschlussbericht – Teil B-1A, Simulation realer Verkehrsunfälle zur Bestimmung des Nutzens für ausgewählte simTD-Anwendungsfälle auf Basis der GIDAS Wirkfeldanalyse.
- 141 simTD (2013d) Fakten. Abgerufen unter www.simtd.de/index.dhtml/object.media/deDE/8013/CS/-/backup_publications/Informationsmaterial/simTD_factsheets_2013_de_web.pdf am 02.02.2015.
- 142 SLA BW (2015a) Betriebe, Beschäftigte, Entgelte und Umsatz im verarbeitenden Gewerbe nach Beschäftigtengrößenklassen in ausgewählten Wirtschaftszweigen. Abgerufen unter http://www.statistik-bw.de/ProdGew/Landesdaten/VG-GK_BBEU.asp?2014 am 02.07.2015.
- 143 SLA BW (2015b) Ausfuhr Baden-Württembergs nach ausgewählten Waren. Abgerufen unter http://www.statistik-portal.de/HandelBeherb/Landesdaten/LR1304_Warenausfuhr_0000.asp am 02.07.2015.
- 144 Smith, B. W. (2014) A Legal Perspective on Three Misconceptions in Vehicle Automation. In: Meyer, G.; Beiker, S. (Hrsg.): Road Vehicle Automation, Lecture Notes in Mobility, Springer International Publishing, 2014, S. 85 ff.
- 145 spiegel.de (2014a) Tesla Model S: Hacker-Attacke bei voller Fahrt. Abgerufen unter <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/tesla-model-s-von-hackern-fremdgesteuert-a-982481.html> am 30.04.2015.
- 146 spiegel.de (2014b) Pilotprojekt „Drive Me“: Geisterfahrt in Göteborg. Abgerufen unter <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/autonomes-fahren-pilotprojekt-drive-me-von-volvo-in-goeteborg-a-972134.html> am 01.06.2015.
- 147 spiegel.de (2015) Paketzustellung aus der Luft: Amazon erhält Lizenz für Drohnenpost-Test. Abgerufen unter <http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/amazon-darf-drohnen-testen-faa-seattle-washington-a-1024571.html> am 01.06.2015.
- 148 spiegelonline.de (2015) Möglicher Einstieg ins Autogeschäft: Apple-Manager schürt Spekulationen über iCar. Abgerufen unter <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/icar-apple-manager-findet-auto-das-ultimate-mobil-geraet-a-1035922.html> am 02.07.2015.
- 149 Statista (2015) Umsatz der deutschen Automobilindustrie in den Jahren 2005 bis 2014. Abgerufen unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/160479/umfrage/umsatz-der-deutschen-automobilindustrie/> am 02.07.2015.
- 150 stuttgarter-zeitung.de (2013) Auf der Spur von Bertha Benz in die Zukunft. Abgerufen unter <http://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.autonomes-fahren-auf-der-spur-von-bertha-benz-in-die-zukunft.c5f3605e-50d5-406d-8d19-6a652cb39a0e.html> am 05.06.2015.
- 151 sueddeutsche.de (2015) Geräuschlos, aber nur in China. Abgerufen unter <http://www.sueddeutsche.de/auto/elektromobilitaet-geraeschlos-aber-nur-in-china-1.2145011> am 01.06.2015.

- 152 T-Systems (2013)
Partnerschaft zwischen Telekom und Daimler für Online-Dienste im Auto. Abgerufen unter <http://www.telekom.com/medien/konzern/175892> am 01.06.2015.
- 153 tagesspiegel.de (2015)
Steuermann im Chaos. Abgerufen unter <http://www.tagesspiegel.de/mobil/autonomes-fahren-auf-der-ces-asia-in-shanghai-steuermann-im-chaos/11846082.html> am 08.08.2015.
- 154 Telefonica (2014)
Connected Car Industry Report 2014.
- 155 Toyota (2015)
Toyota Automatic Highway Driving Assist. Abgerufen unter <https://www.toyota-europe.com/world-of-toyota/safety-technology/toyota-automatic-highway-driving-assist.json> am 01.09.2015.
- 156 Ulbrich, S.; Maurer, M. (2014)
Evaluation einer taktischen Verhaltensentscheidung für Fahrstreifenwechsel beim vollautomatischen Fahren in Städten. In: Tagungsband des 9. Workshops Fahrerassistenzsysteme (FAS2014), S. 147 ff.
- 157 University of Michigan (2015)
Mcity Test Facility. Abgerufen unter <http://www.mtc.umich.edu/test-facility> am 01.06.2015.
- 158 VTPI (2015)
Autonomous Vehicle Implementations Predictions. Abgerufen unter <http://www.vtpi.org/avip.pdf> am 29.08.2015.
- 159 Weller W. (2013)
Automatisierungstechnik im Wandel der Zeit, Entwicklungsgeschichte eines faszinierenden Fachgebiets. Abgerufen unter <http://www.driverlesstransportation.com/wp-content/uploads/2015/02/UMTRI-2015-3.pdf> am 10.04.2015.
- 160 Winner, H.; Hakuli, S.; Wolf, G. (Hrsg.) (2009)
Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort, Vieweg + Teubner, GWV Fachverlage GmbH: Wiesbaden.
- 161 wirtschaftswoche.de (2015a)
Autonomes Elektroauto – wie die Zulieferer das Auto der Zukunft erfinden. Abgerufen unter <http://www.wiwo.de/unternehmen/auto/autonomes-elektroauto-wie-die-zulieferer-das-auto-der-zukunft-erfinden/12060966.html> am 16.07.2015.
- 162 wirtschaftswoche.de (2015b)
US-Autozulieferer Delphi testet autonomes Fahren in Wuppertal. Abgerufen unter <http://www.wiwo.de/unternehmen/auto/autozulieferer-delphi-us-autozulieferer-delphi-testet-autonomes-fahren-in-wuppertal/12207160.html> am 16.08.2015.
- 163 Wyman (2013)
Connected Cars – Herausforderung China.
- 164 zeit.de (2013)
Das Ziel ist der Weg. Abgerufen unter <http://www.zeit.de/mobilitaet/2013-11/auto-navi-kartendaten> am 01.04.2015.
- 165 zeit.de (2014)
Zu kurz gesprungen. Abgerufen unter <http://www.zeit.de/2014/33/autonomes-fahren-auto-strassenverkehr> am 12.05.2015.
- 166 zeit.de (2015)
BMW, Daimler und Audi kaufen Kartendienst Here. Abgerufen unter <http://www.zeit.de/digital/2015-08/bmw-audi-daimler-kauf-here-nokia> am 03.08.2015.

Publikationen der e-mobil BW



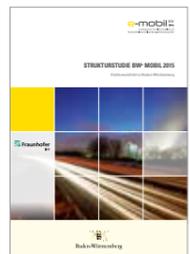
Automatisiert. Vernetzt. Elektrisch. Potenziale innovativer Mobilitätslösungen für Baden-Württemberg

Die Studie gibt einen umfassenden Überblick zum aktuellen Stand bei Technologie, laufenden Forschungsaktivitäten, Auswirkungen auf das Straßenverkehrssystem und rechtlichen Rahmenbedingungen im Bereich automatisiertes und vernetztes Fahren. Sie zeigt wesentliche Handlungsfelder und Forschungsbedarfe auf.



Elektromobilität weltweit – Baden-Württemberg im internationalen Vergleich

Die Studie gibt einen Überblick über die Entwicklung nachhaltiger Mobilitäts-technologien an maßgeblichen Technologie- und Forschungsstandorten in Europa, Nordamerika und Asien und vergleicht diese mit der Entwicklung am Standort Baden-Württemberg. Dabei werden Chancen und Risiken des Technologiewandels für baden-württembergische Akteure identifiziert und Handlungsempfehlungen formuliert.



Strukturstudie BW mobil 2015 – Elektromobilität in Baden-Württemberg

Die Studie gibt einen umfassenden, gegenüber den beiden vorherigen Ausgaben aktualisierten Überblick über bedeutende Themenfelder der Elektromobilität. Dazu zählen technische Komponenten und Systeme, Wertschöpfungs- und Beschäftigungsentwicklungen mit besonderem Fokus auf Baden-Württemberg sowie Einschätzungen und Erfahrungen seitens Wirtschaft, Politik und Anwendern.



Entwicklung der Beschäftigung im After Sales – Effekte aus der Elektromobilität

Die Studie befasst sich mit den Auswirkungen der Elektrifizierung auf das After Sales, und zwar insbesondere im Hinblick auf die zu erwartenden Beschäftigungseffekte. Mit Hilfe von drei Referenzszenarien werden unterschiedliche quantitative und qualitative Auswirkungen im Kraftfahrzeuggewerbe und in der Teileindustrie erforscht. Zudem werden verschiedene Anpassungsstrategien aufgezeigt.



Elektromobilität in Kommunen – Auf dem Weg in eine nachhaltige Zukunft

Modellkommunen zeigen, wie es geht: Engagiert, ideenreich und mit großer Durchsetzungskraft haben die drei Modellkommunen der e-mobil BW – Ludwigsburg, Offenburg und Schwäbisch Gmünd – in den letzten vier Jahren an nachhaltigen Mobilitätslösungen für „ihre“ Stadt gearbeitet. Die Broschüre stellt ihre Best-Practice-Beispiele und Erfolgsgeschichten vor.



Die Rolle von Wasserstoff in der Energiewende – Entwicklungsstand und Perspektiven

Ziel der Studie ist die Darstellung der mit Wasserstoff, Brennstoffzellen und Energiespeicherung verbundenen Entwicklungen und Entwicklungspläne im Gesamtkontext der Energiewende. Im Fokus stehen mobile und stationäre Anwendungen sowie Energieproduktion und -speicherung. Aus der vergleichenden Analyse aktueller Studien werden grundlegende Handlungsempfehlungen erarbeitet.



Wasserstoff-Infrastruktur für eine nachhaltige Mobilität – Entwicklungsstand und Forschungsbedarf

Die Studie gibt einen umfassenden Überblick über die aktuelle Ausgangslage der Wasserstoff-Infrastruktur sowie die verfügbaren technischen Konzepte und Komponenten der Tankstellen. Zudem sind konkrete Vorschläge für den weiteren Forschungs- und Handlungsbedarf von Industrie, Verbänden und öffentlicher Hand enthalten.



Energieträger der Zukunft – Potenziale der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg

Die Studie gibt einen Überblick über den Stand der Technik, stellt den Aufbau der Wertschöpfungskette mit den jeweiligen Kompetenzen im Land dar und schätzt die zukünftigen Umsatz- und Beschäftigungspotenziale ab. Zudem enthält die Studie einen Leitfaden für Unternehmen zur Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in Baden-Württemberg.



Akademische Qualifizierung – Analyse der Bildungs- landschaft im Zeichen von Nachhaltiger Mobilität

Die umfassende Studie verschafft Unternehmen einen Überblick über das deutschlandweite Hochschulangebot im Themenfeld der Nachhaltigen Mobilität. Des Weiteren werden darin Anforderungen der Unternehmen an die Hochschulen und deren Absolventen dargestellt und es sind Empfehlungen enthalten, wie die Politik dazu beitragen kann, die Informations- und Kommunikationsprozesse zwischen Hochschulen und Unternehmen effektiver zu gestalten.



Systemanalyse BW mobil 2013 – IKT- und Energieinfrastruktur für innovative Mobilitätslösungen in Baden-Württemberg

Die Studie „Systemanalyse BW mobil 2013“ gibt in der zweiten, überarbeiteten Auflage einen Überblick über die Bedeutung der IKT- und Energieinfrastruktur für zukünftige Mobilitätslösungen unter Berücksichtigung der rasanten Entwicklungen der entsprechenden Technologien.



Neue Wege für Kommunen – Elektromobilität als Baustein zukunftsfähiger kommunaler Entwicklung in Baden-Württemberg

Mit der Publikation „Neue Wege für Kommunen – Elektromobilität als Baustein zukunftsfähiger kommunaler Entwicklung in Baden-Württemberg“ wird den verantwortlichen Akteuren in den Kommunen im Land ein anschaulicher Einstieg in das Thema nachhaltige Mobilität gegeben und mit Beispielen aus der Praxis gezeigt, wie Elektromobilität vor Ort für die Bürgerinnen und Bürger umgesetzt werden kann. Es werden Handlungsoptionen, Konzepte und Ideen für Kommunen dargestellt, die sie bei der Initiierung oder beim Ausbau der Einführung der Elektromobilität unterstützen.



Spanende Bearbeitung von Leichtbauwerkstoffen – Einführung und Überblick

Die Potenzialanalyse beleuchtet die technologischen Besonderheiten der Leichtbauwerkstoffe im Hinblick auf ihre spanende Bearbeitung und betrachtet die gesundheitlichen Aspekte, die bei der Bearbeitung von Leichtbauwerkstoffen zu beachten sind.



Publikationen der e-mobil BW



Leichtbau in Mobilität und Fertigung – Ökologische Aspekte

Die Studie untersucht das Thema Nachhaltigkeit im Leichtbau unter den Gesichtspunkten Ökologie und Gesundheit. Neben der Ökobilanz, bei der die Auswirkungen auf die Umwelt betrachtet werden, spielen auch gesundheitliche Aspekte der Herstellung und Nutzung von Leichtbauprodukten eine wichtige Rolle.



Leichtbau in Mobilität und Fertigung – Chancen für Baden-Württemberg

Mit dieser Studie wird ein ganzheitlicher Überblick über die technologischen Aspekte des Leichtbaus gegeben und die Relevanz dieser Schlüsseltechnologie für Baden-Württemberg dargestellt. Dabei werden Chancen und Risiken aufgezeigt und die Branchen identifiziert, die bereits Entwicklungen forciert vorantreiben. Betrachtet werden zum einen Konstruktionsweisen und Werkstoffe für Leichtbau, zum anderen wird ein Einblick in die Entwicklungen der verschiedenen Branchen gegeben.



Leichtbau in Baden-Württemberg – Forschungskompetenz Kompetenzatlas

Der Kompetenzatlas präsentiert in gebündelter Form die Forschungskompetenzen im Bereich Leichtbau in Baden-Württemberg, gibt einen Einblick in die Komplexität und Vielfalt des Themengebiets Leichtbau und stellt die verschiedenen Kompetenzträger mit ihren Forschungsschwerpunkten vor. Präsentiert werden elf außeruniversitäre Forschungsinstitute, 28 Universitätsinstitute und 13 Hochschulen für angewandte Forschung, deren Aktivitäten und Kompetenzen für die Entwicklung und Herstellung leichter Strukturen erforderlich sind.



LivingLab BW mobil – Projektübersicht

Die Broschüre stellt alle Projekte des baden-württembergischen Schaufensters Elektromobilität LivingLab BW mobil im Detail vor.



Baden-Württemberg – Kompetenz in Elektromobilität

Umfassender Anbieter- und Marktüberblick: Der Kompetenzatlas Elektromobilität stellt Unternehmen, Forschungsinstitute und Hochschulen aus Baden-Württemberg im Bereich Elektromobilität vor. Zudem informiert er über Initiativen und Verbände und zeigt gleichzeitig Kooperations- und Einstiegsmöglichkeiten auf.

Auch als englische Version verfügbar.



Imagebroschüre e-mobil BW GmbH Starten wir jetzt in die elektromobile Zukunft

Die Imagebroschüre der Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg e-mobil BW GmbH informiert kurz und kompakt über die Tätigkeitsbereiche der Innovationsagentur.

Auch als englische Version verfügbar.



Infolyer – Cluster Brennstoffzelle BW

Der Flyer informiert kurz und kompakt über die Vision, Ziele und Zielgruppen des Clusters Brennstoffzelle BW.

Der Infolyer ist zweisprachig (deutsch/englisch).



Infolyer – Cluster Brennstoffzelle BW

Auf einen Blick: Im Infolyer erhalten Sie einen schnellen Überblick über die Ziele und Leistungen sowie die Vision und Partner des Clusters Brennstoffzelle BW.

Der Infolyer ist zweisprachig (deutsch/englisch).



Infolyer – Schaufenster Elektromobilität LivingLab BW mobil

Nachhaltige Mobilität erfahrbar machen: Der Infolyer informiert kurz und auf den Punkt über das baden-württembergische Schaufenster Elektromobilität LivingLab BW mobil.



Infolyer – e-mobil BW GmbH Starten wir jetzt in die elektromobile Zukunft

Auf einen Blick: In dem Infolyer finden Sie kurz und kompakt die Ziele und Leistungen der e-mobil BW – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg GmbH.

Der Infolyer ist zweisprachig (deutsch/englisch).



Infolyer – Cluster Elektromobilität Süd-West

Der Spitzencluster auf einen Blick: Im Infolyer erhalten Sie einen schnellen Überblick über die Ziele und Leistungen sowie die Vision und Partner des Clusters Elektromobilität Süd-West.

Der Infolyer ist zweisprachig (deutsch/englisch).





Impressum

Herausgeber

e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie
Prognos AG
Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI
TÜV Rheinland Consulting GmbH
Technische Universität Berlin

Redaktion

Dr. Gerhard Becher, Prognos AG
Sebastian Gerres, Prognos AG
Sven Altenburg, Prognos AG

Dr. Torsten Gründel, Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI
Ingrid Nagel, Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI

Dr. Sören Grawenhoff, TÜV Rheinland Consulting GmbH
Marcel Vierkötter, TÜV Rheinland Consulting GmbH

Prof. Dr. Dr. Jürgen Ensthaler, Technische Universität Berlin

Koordination Studie

e-mobil BW GmbH
Frauke Goll
Prognos AG
Dr. Gerhard Becher

Layout/Satz/Illustration

markentrieb
Die Kraft für Marketing und Vertrieb

Fotos

Umschlag: Fotostudio KD Busch Studio
Die Quellnachweise aller weiteren Bilder befinden sich auf der jeweiligen Seite.

Druck

Karl Elser Druck GmbH
Kißlingweg 35
75417 Mühlacker

Auslieferung und Vertrieb

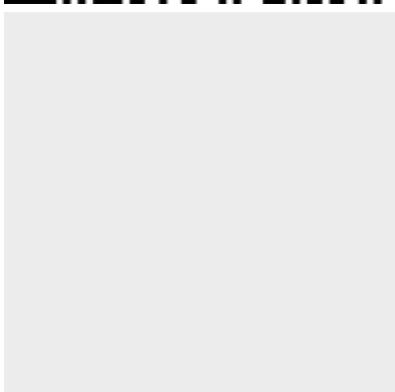
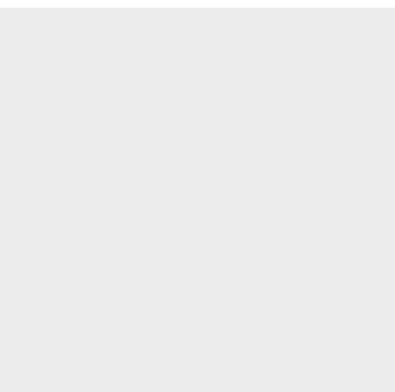
e-mobil BW GmbH
Leuschnerstr. 45
70176 Stuttgart
Telefon: 0711 / 892385-0
Telefax: 0711 / 892385-49
E-Mail info@e-mobilbw.de
www.e-mobilbw.de

Oktober 2015

© Copyright liegt bei den Herausgebern

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk ist einschließlich seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Für die Richtigkeit der Herstellerangaben wird keine Gewähr übernommen.





e-mobil BW GmbH

Leuschnerstr. 45 | 70176 Stuttgart

Telefon: +49 711 892385-0

Telefax: +49 711 892385-49

info@e-mobilbw.de | www.e-mobilbw.de

